
Proyecto Docente e Investigador

Faraón Llorens Largo

Diciembre de 2002

Proyecto Docente e Investigador

para optar al Concurso nº C 1246 para proveer la plaza DF02479
Convocatoria publicada en B.O.E. de 8 de diciembre de 2001

Catedrático de Escuela Universitaria

Perfil: *Lógica Computacional*
Razonamiento
para Ingeniería Informática

Área de Conocimiento: *Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial*

Presentado por:

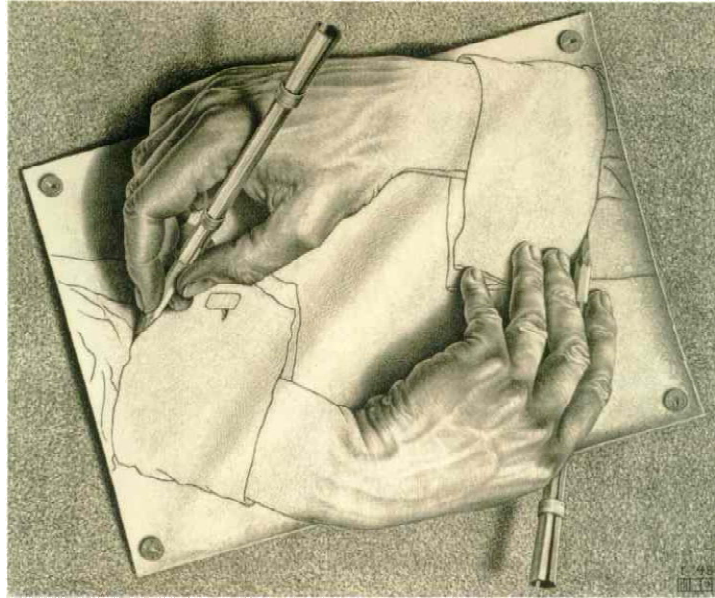
Faraón Llorens Largo



Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

*A Berta,
antes de tenerte me tomaba la vida a tragos largos,
ahora saboreo cada pequeño sorbo*



Drawing hands
Maurits C. Escher

CONTENIDO

PRÓLOGO III

¿DÓNDE ...? 1

1.1. El Espacio Europeo de Educación Superior.....	3
1.1.1. Sistema de Créditos Europeos.....	4
1.1.2. Integración de la Ingeniería en el Modelo Europeo	5
1.2. El Marco Legislativo Español.....	6
1.2.1. La Ley de Reforma Universitaria	6
1.2.2. La Ley Orgánica de Universidades	8
1.3. La Universidad de Alicante.....	9
1.3.1. La Universidad de Alicante	10
1.3.2. La Escuela Politécnica Superior	11
1.3.3. El Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial	13
1.4. La Universidad del Siglo XXI.....	14

¿CÓMO ...? 17

2.1. Reflexiones sobre el Proceso de Enseñanza / Aprendizaje.....	19
2.1.1. Metodología Docente.....	21
2.1.2. Diseño de las Lecciones	22
2.1.3. El Alumnado	23
2.1.4. El Papel de los Docentes.....	25
2.2. Calidad Educativa	27
2.2.1. Evaluación de la Calidad y Acreditación.....	27
2.2.2. Innovación Universitaria.....	29
2.3. Recursos Docentes	30
2.3.1. Resolución de Problemas y Prácticas de Laboratorio	31
2.3.2. Tutorías y Orientación.....	32
2.3.3. Evaluación.....	33
2.3.4. Nuevas Tecnologías	34
2.3.5. Representación Gráfica del Conocimiento	35
2.3.6. Batiburrillo	37

¿QUÉ ...? 39

3.1. Propuestas Curriculares para Informática	41
3.1.1. Computing Curricula 2001	42
3.1.2. Ingeniería Informática en la Universidad Española.....	47
3.1.3. Conclusiones	48
3.2. Ingeniería Informática en la Universidad de Alicante	49
3.3. Lógica, Razonamiento y Computación.....	51
3.3.1. Evolución Histórica.....	51
3.3.2. Programas para la Enseñanza de la Lógica	56

3.3.3. Principios para la Enseñanza de la Lógica.....	57
---	----

LÓGICA COMPUTACIONAL	59
-----------------------------	-----------

4.1. Objetivos y Mapas de la Asignatura.....	61
4.1.1. Objetivos.....	61
4.1.2. Mapa Temático	62
4.1.3. Mapa Conceptual	63
4.2. Estructura.....	63
4.2.1. Contenidos Teóricos.....	64
4.2.2. Contenidos Prácticos.....	69
4.3. Planificación	78
4.3.1. Sesiones.....	78
4.3.2. Criterios de Evaluación	79
4.4. Referencias Documentales	80
4.4.1. Bibliografía Básica	80
4.4.2. Bibliografía Complementaria	83

RAZONAMIENTO	89
---------------------	-----------

5.1. Objetivos y Mapas de la Asignatura.....	91
5.1.1. Objetivos.....	92
5.1.2. Mapa Temático	93
5.1.3. Mapa Conceptual	94
5.2. Estructura.....	94
5.2.1. Módulo Teórico	95
5.2.2. Módulo de Trabajo.....	101
5.2.3. Módulo de Aplicación	101
5.2.4. Módulo Práctico	104
5.3. Planificación	104
5.3.1. Sesiones.....	105
5.3.2. Criterios de Evaluación	105
5.4. Referencias Documentales	106

AGENTES INTELIGENTES	113
-----------------------------	------------

6.1. La Investigación en el Contexto Universitario	115
6.1.1. La Investigación en la Universidad	115
6.1.2. Metodología Investigadora	116
6.1.3. El Grupo de Investigación <i>i3a</i>	117
6.2. El Doctorado.....	119
6.2.1. Programas de Doctorado.....	120
6.2.2. Ingeniería Informática y Computación	121
6.2.3. La Tesis Doctoral	122
6.3. Los Proyectos de Investigación	125
6.3.1. PANDORA.....	126
6.3.2. Líneas Futuras de Investigación.....	134

BIBLIOGRAFÍA	137
---------------------	------------

PRÓLOGO

El presente proyecto docente e investigador ha sido realizado para la participación en el concurso nº C 1246, según resolución de 22 de noviembre de 2001 de la Universidad de Alicante (B.O.E. de 8 de diciembre de 2001) para proveer la plaza DF02479 de Catedrático de Escuela Universitaria, en el departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, perteneciente al área de conocimiento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, con perfil de docencia en *Lógica Computacional y Razonamiento* para Ingeniería Informática. Esta labor se realizará en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante.

Premisas

He estado debatiéndome entre elaborar un documento extenso, completo y detallado o un documento reflexionado, claro pero sucinto. Finalmente me he decantado por esta última fórmula por varias razones. La primera porque es una plaza de Catedrático de Escuela Universitaria y por tanto no se trata de un primer contacto con la

Universidad, ni con la docencia ni con la disciplina. En segundo lugar porque en la actualidad podemos encontrar una gran cantidad de información en la red (web de las universidades, planes de estudio, recomendaciones curriculares, programas de asignaturas, ...). Por ello he intentado, evitando que la excesiva información se convierta en ruido, ser lo más conciso posible, de forma que se facilite la lectura del texto y referenciando los lugares donde se puede encontrar más información. En fin, de forma totalmente consciente, este proyecto consiste en una reflexión razonada y fundamentada más que en una recopilación exhaustiva de información.

En mi ánimo ha estado escribir un proyecto *comprometido*, que apuesta por un modelo de universidad de futuro, involucrada en el plano pedagógico, con redes investigadoras de excelencia y motor de la transformación de la sociedad.

Escenario Formativo

Para plantearnos la labor a realizar deberemos tener en cuenta los elementos contextuales y al marco global en el que se desarrolla dicha actividad. La Imagen 1 representa gráficamente la visión del *escenario formativo* donde ubicamos nuestra actividad como profesores universitarios y que servirá de hilo argumental del proyecto y condicionará la estructura del mismo.

En la parte superior del gráfico tenemos el contexto en el que se va a desarrollar nuestra labor, desglosado en tres grandes aspectos, el institucional, el curricular y pedagógico. En el caso concreto del profesor universitario, el contexto institucional se caracteriza por lo que podríamos llamar mundo universitario (historia, cultura, normativas, estructura organizativa, etc.). El contexto curricular hace referencia a los conocimientos, habilidades y actitudes que debemos enseñar, particularizados en el caso del presente proyecto, en la enseñanza de lógica y razonamiento a futuros ingenieros en informática. Finalmente, en el contexto de aprendizaje se deben analizar las condiciones y características del proceso de enseñanza/aprendizaje. Pero no pueden entenderse estos contextos desde una perspectiva independiente, pues todos ellos forman parte de una realidad social global. Todos estos contextos se interrelacionan, se influyen y condicionan mutuamente.

Tras un análisis y estudio del entorno y con todo ello en mente, el profesor debe diseñar y planificar su proyecto docente, concretando objetivos, contenido, recursos y criterios de evaluación. De aquí se puede apreciar que la tarea docente es, en cierta medida, la de director y organizador del proceso de enseñanza/aprendizaje y esto conlleva a la toma de decisiones continua, al elegir y seleccionar: vamos restringiendo el saber de un determinado campo a unos contenidos concretos organizados en un temario; nos decantamos por una metodología concreta; utilizamos determinados recursos y otros no, etc. Al mismo tiempo debe planificar su actividad investigadora de forma que se completen las labores de difusión y de generación y aplicación del conocimiento.

Pero esta decisión no se realiza en un momento determinado y permanece invariable en el tiempo, sino que está sujeta a una continua revisión, apoyada por la retroalimentación que obtiene el profesor en su contacto con la realidad educativa, evaluando los conocimientos, habilidades y actitudes realmente adquiridas por los alumnos y confrontándolos con los esperados en la programación.

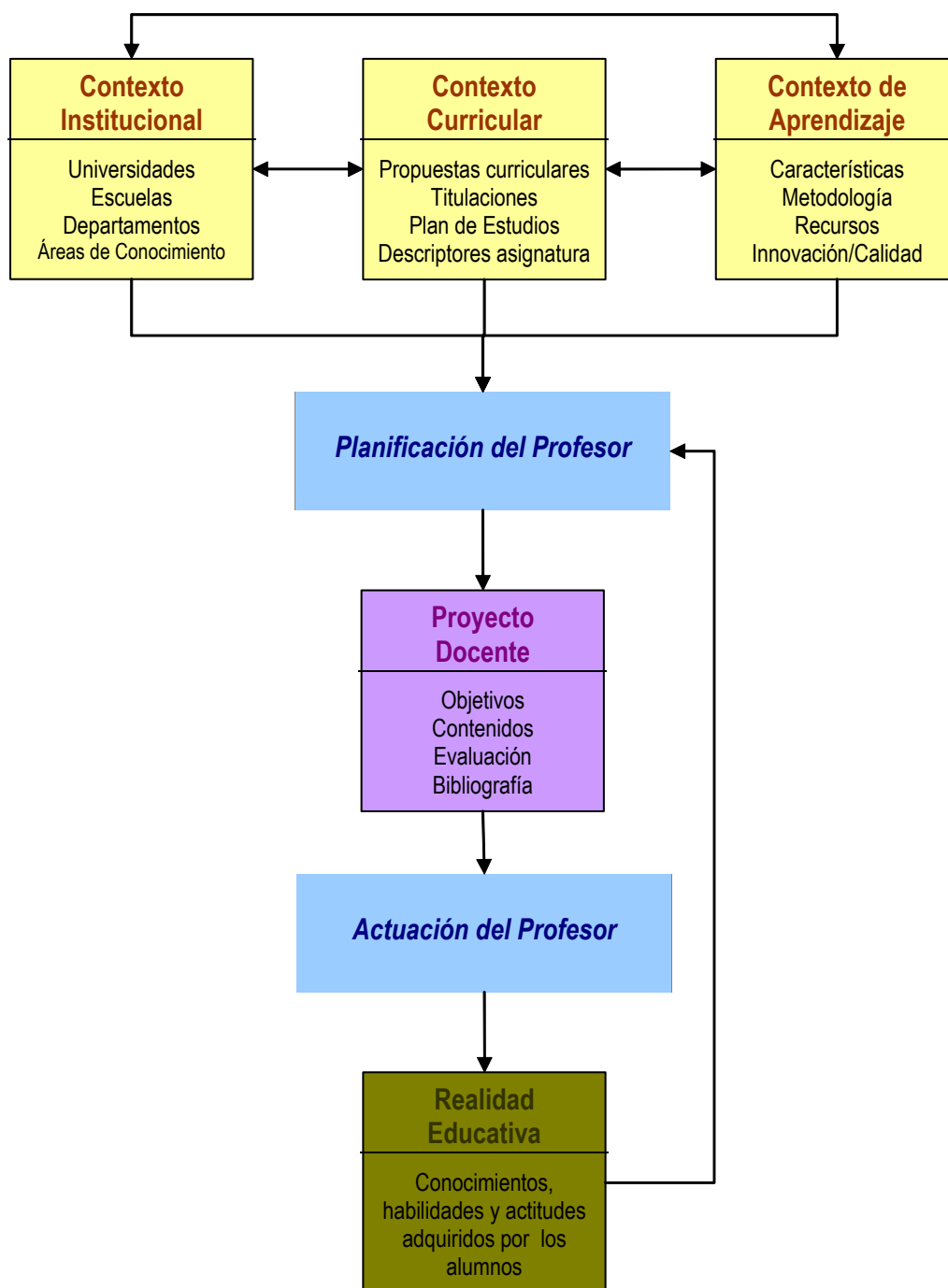


Imagen 1: **Escenario Formativo**

Estructura

Por todo ello el documento está estructurado en seis temas:

- *Dónde* ... se desarrollará nuestra labor, es decir, el contexto universitario español, teniendo en cuenta el futuro común europeo y centrándonos en la Universidad de Alicante.

- *Cómo ...* queremos enseñar, reflexionando sobre la tarea docente, las metodologías y corrientes pedagógicas más relevantes y las herramientas y recursos didácticos disponibles.
- *Qué ...* vamos a enseñar, reflexionando sobre los contenidos de las asignaturas del perfil de la plaza, teniendo en cuenta que estamos formando ingenieros en informática y tras analizar diversas propuestas existentes, tanto nacionales como internacionales.
- *Lógica Computacional*, planteamiento de un programa concreto para la asignatura “Lógica Computacional” teniendo en cuenta los aspectos tratados en los capítulos anteriores.
- *Razonamiento*, planteamiento de un programa concreto para la asignatura “Razonamiento” teniendo en cuenta, de igual modo, los aspectos analizados en los tres primeros capítulos.
- *Agentes Inteligentes*, reflexión sobre la tarea de investigación, indisoluble de la labor docente del profesorado universitario, y planteamiento de las líneas de investigación, actuales y futuras, en el campo de los “Agentes Inteligentes”.

Justificación

La imagen de una de las páginas iniciales corresponde a un grabado de Maurits Escher en la que se muestra un par de manos, cada una de ellas siendo dibujada y dibujando a la otra al mismo tiempo. La razón para la elección de la misma es múltiple. En primer lugar la selección del artista viene dada por mi admiración por Escher desde la primera lámina suya que cayó en mis manos, aumentada si cabe tras la lectura del fabuloso libro de Douglas Hofstadter *Gödel, Escher, Bach. Un Eterno y Grácil Bucle*. Por otro lado, por la autorreferencia que se vislumbra en la misma; como entusiasta de la inteligencia y la lógica y profesor de ciencia de la computación e inteligencia artificial, soy consciente de que al estudiar el pensamiento con pretensiones de formalizarlo y automatizarlo, tarde o temprano se llega a la situación límite de la autorreferencia. Finalmente porque representa gráficamente el proceso operado en mí mientras escribía este proyecto docente; mi mente escribía este proyecto sobre lógica y razonamiento, pero al mismo tiempo, los textos que leía y los párrafos que redactaba actuaban sobre mi mente lógica reconfigurándola y rescribiendo en ella.

CAPÍTULO 1

¿DÓNDE ...?

EL CONTEXTO UNIVERSITARIO

La educación superior es esencial para el desarrollo científico, técnico y cultural de cualquier país, en particular del nuestro. Por ello debemos plantearnos cuál es el modelo de Universidad capaz de contribuir a la transformación de la presente sociedad de modo que se conserven los valores humanos y las conquistas del Estado del bienestar, se actúe en sintonía con los principios de la tolerancia y la solidaridad, se combata el desempleo, etcétera.

Francisco Michavila, *La salida del laberinto*

En este primer capítulo se aborda el estudio y análisis del *contexto institucional*, en nuestro caso lo que conocemos como *mundo universitario*, sus funciones y objetivos, sus reglamentaciones, su estructura y su funcionamiento. En definitiva se persigue dar una visión de la universidad que tenemos, particularizada a la universidad española y concretada en la Universidad de Alicante. Tras este breve análisis de la situación actual, finaliza el capítulo con un apartado dedicado a la *Universidad del siglo XXI*, unas breves reflexiones y propuestas sobre la universidad que me gustaría tener.

1.1. EL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

La Unión Europea, aunque inició su andadura con un enfoque claramente económico, ha propiciado la convergencia en distintos ámbitos, que incluyen, entre otros, la educación, impulsando un movimiento encaminado al desarrollo de un *Espacio Europeo de Educación Superior* que permitirá el reconocimiento de las titulaciones y asegurará una formación óptima de los estudiantes y su integración en un mercado laboral y sin fronteras. Nos dirigimos hacia una *Europa del Conocimiento*, que manteniendo su diversidad cultural como principal riqueza, pueda facilitar la movilidad de profesionales.

La redacción de 1988 de la *Carta Magna de la Universidad Europea* realizada en Bolonia [Rectores de las Universidades Europeas, 1988] es un acuerdo que firman en su momento los máximos responsables de educación de 29 estados europeos. El documento define objetivos y líneas de actuación, pero no compromete en ninguna medida. Se trata de un conjunto de buenas intenciones y propuestas que pretenden poner en marcha una reforma progresiva del Sistema Europeo de Educación Superior. Este proceso comenzó en la Universidad de la Sorbona (mayo de 1998) consolidándose posteriormente en Bolonia (junio de 1999) [Rectores de las Universidades Europeas, 1999] y en Praga (mayo de 2001) [Rectores de las Universidades Europeas, 2001]. Los días 18 y 19 de septiembre de 2003 tendrá lugar la próxima reunión ministerial en Berlín. En el acuerdo conocido como *Declaración de Bolonia* firmado en junio de 1999 por los ministros de Educación y Ciencia de la Unión Europea se acuerda establecer un Sistema Europeo de Educación Superior antes de 2010. Este marco europeo considera la función cultural como uno de los principios en los que refundamenta el concepto y funciones de la Universidad, con el fin de que sea foro de conocimiento recíproco y de interacción entre las culturas.

Entre las acciones que se pueden acometer para la consecución de ese espacio educativo común están:

- *Movilidad académica*, tanto de profesores e investigadores como de alumnos, de gestores y directivos de centros educativos y de interlocutores sociales.
- Extensión de acuerdos de *reconocimiento mutuo*.
- Construcción de *redes de cooperación* a escala europea.
- Generalización de la cultura y los hábitos de la innovación, por medio de la realización de proyectos piloto transnacionales que generen productos e instrumentos educativos.
- Mayor facilidad de acceso a los sistemas de documentación comunitarios (bases de datos, conocimiento mutuo de sistemas educativos,...).

- *Proyectos multinacionales*, a través del desarrollo de programas educativos y de investigación comunes que integren colectivos que trabajan en actividades relacionadas con un mismo tema.

Los elementos básicos de todo el proceso de convergencia y que deben conformar las acciones de reforma y revisión de los Sistemas de Educación Superior de los países de la Unión Europea se pueden resumir en:

- los *Créditos Europeos*, considerando al estudiante como el centro de todo el proceso
- la *Estructura del Currículo* en dos niveles de formación
- y la *Acreditación de la Calidad*, para el reconocimiento mutuo de los títulos

Los dos primeros aspectos los trataremos en los siguientes apartados. El tercer aspecto será tratado en el capítulo segundo.

Aunque en este apartado nos hemos centrado en la creación y existencia de un sistema europeo de educación superior, no debemos descuidar el papel que la Universidad española debe representar con relación a Iberoamérica.

1.1.1. Sistema de Créditos Europeos

Uno de los aspectos claves del espacio común de educación superior corresponde al sistema de créditos europeos ECS ("European Credit System"), este concepto de crédito incluye no sólo las clases presenciales, sino la totalidad del trabajo de los estudiantes. La adopción del sistema de créditos europeo implicará una reorganización conceptual de los sistemas educativos para adaptarse a los nuevos modelos de formación centrados en el trabajo de los estudiantes. Entrañará un nuevo enfoque sobre métodos docentes, o por lo menos eso es lo que espero, ya que de lo contrario se habrá perdido una gran oportunidad.

Los programas de movilidad de estudiantes determinaron la necesidad de encontrar un sistema adecuado de equivalencias y reconocimiento de estudios, que originó el *Sistema Europeo de Transferencia de Créditos* (ECTS - "European Credit Transfer System") [Pagani, 2002]. Este sistema se basa en algunos elementos básicos:

- La utilización de créditos ECTS como valores que representan el volumen de trabajo efectivo del estudiante y el rendimiento obtenido mediante calificaciones comparables ("ECTS grades").
- La información sobre los programas de estudio y los resultados de los estudiantes con documentos con un formato normalizado: guía docente (en versión bilingüe y disponibles desde las páginas web de la universidades) y certificados académicos.
- El acuerdo mutuo entre los centros asociados y los estudiantes.

El crédito europeo se basa en el volumen total del trabajo del estudiante y no se limita exclusivamente a las horas de asistencia en clases presenciales. Traduce el volumen de trabajo que cada unidad de curso requiere, teniendo en cuenta las lecciones magistrales, trabajos prácticos, seminarios, periodos de prácticas, trabajo de campo, trabajo personal tanto en bibliotecas como en el domicilio y los exámenes u otros métodos de evaluación. El volumen de trabajo de un año académico representaría 60 créditos.

En la actualidad se han realizado evaluaciones del sistema en todos los países de la Unión europea y, gracias a las conclusiones del grupo de trabajo Consejeros ECTS y de los documentos de la primera fase del proyecto "Tuning Educational Structures in Europe", se han recomendado los siguientes parámetros: 40 semanas por curso, con 40 horas a la semana, lo que hace un total de 1600 horas por curso; teniendo en cuenta que un curso son 60 créditos, tenemos que un crédito conlleva entre 25 y 30 horas de trabajo.

En este sentido, España, donde los créditos se asocian a horas docentes en aula, deberá revisar su sistema. El desarrollo normativo de la LOU marcará las pautas a seguir, ya que en su artículo 88 (título XIII. Espacio europeo de enseñanza superior) dicta que se "establecerá las normas necesarias para que la unidad de medida ... sea el crédito europeo o cualquier otra unidad que se adopte en el espacio europeo de enseñanza superior". La CRUE, en el plenario de diciembre de 2000, aprobó la definición del nuevo crédito español como:

la unidad de valoración de la actividad académica, en la que se integran armónicamente, tanto las enseñanzas teóricas y prácticas, otras actividades académicas dirigidas, y el volumen de trabajo que el estudiante debe realizar para superar cada una de las asignaturas.

Como se puede comprobar, el nuevo sistema de créditos europeo no sólo implica un cambio conceptual que afecta al estudiante sino que va a afectar también al profesor, debiendo considerarse una nueva fórmula para calcular la dedicación del profesorado. No se deberá tener en cuenta sólo las horas de docencia presenciales y tutorías, ya que los profesores tendrán que invertir mayor tiempo en la preparación de sus asignaturas y en la atención personalizada de los estudiantes.

1.1.2. Integración de la Ingeniería en el Modelo Europeo

Otro aspecto clave del espacio común de educación superior hace referencia a la estructura de las titulaciones, basadas fundamentalmente en dos niveles principales, pregrado y grado, siendo el título de primer nivel de valor específico en el mercado de trabajo europeo mientras que con el segundo nivel se obtendría un máster y/o doctorado. En este sentido, las Ingenierías lo tienen un poco más difícil, ya que en estos momentos contamos con títulos de ciclo corto y de ciclo largo, con posibilidad de pasar del título de ciclo corto al segundo ciclo de la carrera larga. Además, las especialidades suelen darse en los primeros ciclos, con títulos de ingenieros técnicos con subtítulo de especialidad mientras que los superiores tienen un carácter generalista. Parece que unificarlo ahora en un solo nivel puede generar conflictos. Algunas universidades ya están trabajando al respecto. Así, el proyecto piloto que baraja la UPC para su implantación el próximo curso consistirá en diseñar una titulación de ingeniería de cuatro años y organizar másteres más específicos de uno o dos años.

Las ingenierías tienen aún reciente su incorporación al sistema universitario y la transformación de una gran parte de los estudios profesionales en universitarios. A raíz de ello, en la Universidad Española coexisten Facultades y Escuelas, unas veces conviviendo en la misma universidad, y otras distinguiendo entre universidades *literarias* y universidades *politécnicas*. Aún así, nuestro sistema universitario es aún demasiado uniforme, existiendo un único modelo de universidad, en cuanto a objetivos y

organización, aun a sabiendas que no sirve la misma estructura para una Facultad de Medicina, para una Facultad de Derecho, para una Escuela de Arquitectura o para una Escuela de Ingenieros de Caminos. Deberemos tener en cuenta que los Centros Universitarios en función de sus objetivos requerirán contenidos más profesionales o más científicos, una formación más aplicada o más teórica, más relacionada con el desarrollo profesional o con tareas de creación y transmisión de conocimientos. Se trataría, pues de favorecer la diversificación, pero siempre integrada en un proyecto educativo común. En palabras de los profesores Embid y Michavila, “en la actualidad no hay demasiadas Universidades pero sí que puede encontrarse excesivo parecido entre ellas. La incorporación en las dos últimas décadas de casi toda la enseñanza superior genera una necesidad creciente, en contrapartida, de diversificación y flexibilización: se trataría de que pudiesen coexistir Universidades o centros *de investigación*, con una orientación científica, y otras Universidades u otros centros de perfil más profesional, concebidos exclusivamente para *la enseñanza*. Hay que eliminar rigideces estructurales y el carácter homogéneo – innecesario- que representa el marco único de campus universitario, dotándole de una estructura en *holding*. Así se posibilitaría dentro de una misma Universidad la existencia de centros *más científicos* y centros *más profesionales*” [Embid y Michavila, 2001].

1.2. EL MARCO LEGISLATIVO ESPAÑOL

En este apartado vamos a analizar el marco legislativo en el que nos movemos, en concreto la Ley de Reforma Universitaria de 1983 y la Ley Orgánica de Universidades de 2001 por encontrarse dicho concurso a caballo entre ambas leyes. La LRU, aunque está derogada por el punto 1 de la disposición derogatoria única de la LOU, porque nos sirve para todo aquel desarrollo normativo aún no establecido como resultado de la LOU y porque dicho concurso se atiene a sus características por estar publicado en BOE en fecha anterior a la aprobación de la nueva ley. La LOU por ser el marco de referencia en el que se desarrollará la labor.

1.2.1. La Ley de Reforma Universitaria

La Ley de Reforma Universitaria [LRU, 1983], conocida como la LRU data de 1983 y supuso una reforma de la Universidad y de la enseñanza superior en nuestro país, y el desarrollo de la *autonomía universitaria* que recoge el artículo 27 de la Constitución Española, procurando la libertad académica (de docencia y de investigación), la autonomía estatutaria o de gobierno, la autonomía financiera y la capacidad de seleccionar y promocionar el profesorado. Una vez desarrollados aspectos como el régimen estatutario de las universidades, su organización en departamentos o el régimen de profesorado se acometió la ordenación académica de las enseñanzas y el desarrollo normativo pertinente [Embid y Gurrea, 2001]. Dicha reforma empieza a efectuarse a partir de 1985 con la constitución del Consejo de Universidades, organismo al que el artículo 28.1 de la LRU atribuye la competencia de “proponer los títulos de carácter oficial y de

validez en todo el territorio nacional, así como las directrices generales de los planes de estudios que deberán cursarse para su obtención y homologación”.

En virtud de sus competencias el Consejo elabora en febrero de 1987 un documento sobre la *Reforma de Enseñanzas Universitarias* cuyo objetivo es la modernización de éstas y se orienta hacia los cuatro puntos siguientes:

1. *Actualización de enseñanzas y conocimientos* impartidos en las universidades españolas, incorporando otros nuevos que exige el desarrollo cultural, científico y técnico, e incluyendo en los currículos enseñanzas instrumentales que deben constituir el bagaje cultural de todo universitario.
2. *Flexibilizar las enseñanzas impartidas* de manera que el carácter estatal de los títulos académicos se armonice con la autonomía de las universidades, y con el respeto de los intereses de los estudiantes. De esta forma los planes correspondientes a un mismo título podrán variar de unas universidades a otras, y dentro de la misma ser distinto el curriculum de cada estudiante en función de la optatividad escogida.
3. *Vincular Universidad y Sociedad*, aproximando las enseñanzas a las necesidades sociales. A ello responde, además de la propia flexibilidad de los Planes de Estudios, la ordenación cíclica de las enseñanzas, que deben permitir una alternancia entre estudio y trabajo, contribuyendo a la disminución del fracaso escolar. Al mismo objetivo se orienta la diversificación del catálogo de títulos oficiales, y sobre todo, de las especializaciones que podrán ofertar libremente las universidades.
4. Finalmente se pretende *adaptar el sistema de enseñanza superior* a los requerimientos derivados de diversas directivas de la *Comunidad Europea*.

Todo ello conduce a distintos decretos y recomendaciones [Consejo de Universidades, 1987], [Consejo de Universidades, 1992], [Consejo de Universidades, 1998] en los que se introducen los siguientes conceptos, algunos de ellos novedosos en su momento:

- *Directrices Generales Comunes*. Las aplicables a todos los planes conducentes a cualquiera de los títulos oficiales en el territorio nacional.
- *Directrices Generales Propias*. Las que, además de las directrices generales comunes, son de aplicación a los planes conducentes a los títulos universitarios oficiales específicos para los que se establezcan.
- *Plan de Estudios*. Conjunto de enseñanzas organizadas por una universidad, cuya superación da derecho a la obtención de un título. Si dicho título tiene carácter oficial y validez nacional, el plan deberá someterse a la homologación del Consejo de Universidades, una vez aprobado por la universidad correspondiente.
- *Currículo*. Conjunto de estudios concretos superados por el estudiante en el marco de un plan de estudios conducente a la obtención de un título.
- *Crédito*. Unidad de valoración de las enseñanzas correspondiente a 10 horas de enseñanza teórica, práctica o de sus equivalencias. Habitualmente se considera que cada cuatrimestre consta de 15 semanas lectivas y por lo tanto a cada hora de clase semanal le corresponde 1'5 créditos.

Y se establecen los siguientes puntos:

- *Duración y Ordenación Cíclica.* Los estudios se organizan en ciclos: el primero de ellos con una duración de 2 ó 3 cursos, el segundo de 2 cursos o, excepcionalmente, de 3.
- *Carga Lectiva.* Se establece una carga lectiva de entre 60 y 90 créditos al año, siendo la carga semanal de 20 a 30 horas de las que, como máximo, 15 serán de enseñanzas teóricas. En los Planes de Estudios las universidades especificarán, para todas las materias, los créditos de enseñanzas tanto teóricas como prácticas.
- *Contenidos.* Las distintas materias se organizarán en tres tipos:
 - a) *materias troncales*, aquellas que son de obligatoria inclusión en todos los planes que conduzcan a un mismo título oficial en la totalidad de las universidades españolas. Representarán al menos el 30% de la carga lectiva en el primer ciclo, y al menos el 25% en el segundo ciclo;
 - b) *materias propias* de la universidad, que podrán ser
 - *obligatorias* : exigidas por cada universidad en concreto
 - *optativas* : propias de cada una de las titulaciones de cada universidad y entre las que el alumno deberá optar para la consecución de los créditos exigidos
 - c) *materias de libre elección* por el estudiante, elegidas entre cualquier asignatura impartida en su universidad, incluyendo asignaturas de otras titulaciones, en orden a la libre configuración de su propio currículo. Representan un mínimo del 10% de la carga total.

Otros aspectos contemplados son: forma de homologación y modificación de los planes, y posibilidad de planes comunes tanto entre universidades españolas como entre universidades extranjeras. Además, algunos de estos conceptos han tenido distintas revisiones y modificaciones.

En resumen, la LRU representó la democratización de la Universidad Española dotándola de autonomía y concibiéndola como un servicio público, al mismo tiempo que constituyó un acercamiento de la misma a los ciudadanos y generalizó el acceso de un número creciente de estudiantes a las aulas, dando lugar a lo que conocemos como una *universidad de masas* o *abierta*. Al mismo tiempo supuso un incremento e intensificación de la investigación en España. Con el paso del tiempo y tras dieciocho años de existencia, la realidad social de nuestro país no es la misma y empieza a calar la idea de que es aconsejable una actualización, que en parte corrija los defectos y supla las carencias que se habían detectado. Es necesario un nuevo impulso, emprender una nueva etapa de la Universidad Española [Chaves García, 2001].

1.2.2. La Ley Orgánica de Universidades

En estas circunstancias nace la Ley Orgánica de Universidades [LOU, 2001], conocida como la LOU, que fue aprobada por el Pleno del Congreso de los Diputados el 20 de diciembre de 2001. Aunque existía una atmósfera favorable para la renovación del sistema universitario, no supo recoger el sentir generalizado de los principales actores de la vida universitaria y recibió la protesta de numerosos colectivos sociales, desperdiándose una oportunidad inmejorable de realizar una reforma consensuada de la educación superior española.

La LOU nace con el propósito de satisfacer los nuevos retos de la sociedad tras los cambios acaecidos en los últimos años y al mismo tiempo corregir las deficiencias existentes. Promulga una nueva ordenación de la actividad universitaria, dotando a sus estructuras de una mayor flexibilidad que les permita afrontar el dinamismo de un país avanzado y anima a una mayor colaboración entre la Universidad y la sociedad. Persigue la mejora de la calidad del sistema universitario mediante mecanismos que perfeccionen su labor, profundizando en la cultura de la evaluación y la acreditación y a través de un cambio en el procedimiento de habilitación y selección del profesorado. Propone un sistema que agilice y potencie la movilidad de estudiantes y profesores en el marco universitario común europeo. Finalmente, en aras de mejorar la competitividad de la sociedad, la nueva ley prevé la creación de estructuras mixtas de investigación con empresas de base tecnológica, como medio para la vinculación de la investigación con el sistema productivo.

A pesar de que amplios sectores sociales estaban de acuerdo en la necesidad de reformar la LRU, el proceso de desarrollo y promulgación de la LOU ha carecido del consenso deseable y ha sido poco afortunado; hasta el punto de que se ha promovido un clima de conflictividad que a todas luces parecía evitable. Entre los aspectos de mayor controversia se destaca el aumento de la presencia del poder político en el gobierno de las universidades, lo que se interpreta como una merma significativa de la autonomía universitaria, así como fundamentar la calidad del profesorado en su sistema de elección.

No obstante la reacción social de protesta, la actitud democrática tiene arraigo suficiente para que las mismas voces críticas sean las primeras en expresar su “compromiso de actuar con el máximo respeto a la legalidad vigente en nuestro estado de derecho” (Nota de prensa del 26 de siembre de 2001 de la Conferencia de Rectores tras la aprobación de la LOU). De ahí que, generalizadamente, los actores implicados se encuentren en estos momentos enfrascados en la implantación y en el desarrollo normativo derivado de la nueva ley.

1.3. LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Como ya se ha comentado la Universidad Española gozó de un crecimiento relevante en la segunda mitad del siglo pasado. Sirvan como muestra algunos datos. Durante el curso 2000/2001 el número de centros universitarios se aproximó al millar, agrupados en 63 universidades (48 públicas y 15 privadas), dos de ellas con carácter no presencial (UNED y UOC), con aproximadamente un millón y medio de alumnos matriculados en el curso 1999/2000. Para poder comparar, a principios de los ochenta únicamente había 30 universidades públicas, tres universidades vinculadas a la Iglesia Católica y una universidad privada. De igual manera, la oferta formativa de la universidad española ha experimentado una patente progresión con la evolución de las titulaciones clásicas y la aparición de nuevos títulos y un aumento de la especialización. Así, durante el curso 1999/2000 existían un total de 137 titulaciones, de las cuales 55 correspondían a carreras de ciclo largo, 61 de ciclo corto y 21 de sólo segundo ciclo. Para ilustrar la pujanza de la técnica en la universidad basta señalar que el área de enseñanzas técnicas concentra algo

más del 40% de los títulos. De estos 58 títulos distintos del área técnica, 12 son de 1^{er} y 2^o ciclo, 8 son de sólo 2^o ciclo y los 38 restantes de 1^{er} ciclo.

Tras esta breve introducción a la universidad española, nos centraremos en la Universidad de Alicante y los órganos que incumben al desarrollo de la labor fundamento de este proyecto, es decir, la Escuela Politécnica Superior y el Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial.

1.3.1. La Universidad de Alicante

La institución académica en la que se va a desarrollar la actividad docente para la cual está elaborado este proyecto docente es la *Universidad de Alicante* (<http://www.ua.es>), perteneciente al sistema universitario público de la Comunidad Valenciana. La UA fue creada en 1979, por la Ley 29/1979 de 30 de octubre, sobre la estructura del “Centro de Estudios Universitarios” (CEU) que había empezado a funcionar en 1968 en el seno de la Universidad de Valencia. Aunque desde el ámbito cultural y patrimonial la Universidad de Alicante ostenta la condición de *Heredera de la Universidad Histórica de Orihuela* que, desde que fue fundada en 1610, mantuvo su actividad hasta 1834. Las facultades de Ciencias y Filosofía y Letras fueron las primeras en constituirse en la recién creada Universidad de Alicante. Seguidamente entraron en funcionamiento las Escuelas Universitarias de Ciencias Empresariales y de Formación del Profesorado de E.G.B., y las facultades de Medicina, Derecho, Ciencias Económicas y Ciencias Empresariales. En 1991 se integraron los estudios de las áreas técnicas, ya existentes en Alicante como parte de la Universidad Politécnica de Valencia. Actualmente esta Universidad cuenta con cinco Facultades, seis Escuelas Universitarias y una Escuela Politécnica Superior. La Universidad de Alicante es, pues, una universidad joven, a consecuencia de lo cual se encuentra todavía inmersa en una dinámica de consolidación y de establecimiento de sus propios rasgos definitorios.

En la actualidad la oferta académica se sitúa en cincuenta y una titulaciones. En total son veintiséis Licenciaturas, dieciocho Diplomaturas, cuarenta y nueve cursos de Doctorado y veintisiete de Postgrado, además de diferentes Másteres y programas de Especialista Universitario. Esta formación es recibida por unos treinta mil estudiantes que se matriculan cada año. Se estructura en cincuenta y cuatro Departamentos y ocho Institutos Universitarios en los que se integran los más de mil setecientos profesores y profesoras con los que cuenta esta Universidad.

El Campus, con más de un millón de metros cuadrados (de los que el setenta por ciento se ha destinado a zonas verdes) se ha configurado como un modelo de diseño urbanístico. Se encuentra situado en el término de San Vicente del Raspeig a 6 km. de la ciudad de Alicante, donde concentra sus dependencias y servicios. Dispone además de una sede institucional en el centro de la ciudad, en la antigua Escuela de Comercio. Así mismo, tiene algunos centros de grado medio en determinadas localidades de la provincia y desarrolla una política de presencia intensiva de actividades de extensión universitaria y formación complementaria a nivel de la práctica totalidad de las comarcas alicantinas, fundamentalmente a través de sus *Sedes Universitarias* (Colegio Santo Domingo de Orihuela, el Palau Comtal de Cocentaina, el Palau de Pere Bigot y la Casa de Andrés, en Benissa, y las más recientes de Biar, Xixona y La Nucía). Además, la *Universidad*

Permanente ofrece su docencia a un alumnado que, alcanzada la edad de la jubilación, desea cumplir con el sueño de estudiar en la universidad y obtener una titulación académica.

La actividad investigadora, tanto básica como aplicada, de la Universidad de Alicante goza de una alta consideración tanto a nivel nacional como internacional en Investigación y Desarrollo. La Universidad alberga varios Institutos de Investigación de reconocido prestigio y dispone de ciento noventa grupos de investigación. El espectacular desarrollo experimentado ha hecho ineludible el nacimiento de un nuevo proyecto que se contempla en el Plan Integral de Expansión del Campus, que se traducirá en la inminente creación del Área de Investigación y de Experimentación Industrial que constituye la última apuesta de la Universidad de Alicante por transferir sus investigaciones y avances al servicio de la sociedad.

Con todo lo apuntado, la Universidad de Alicante se encuentra en una excelente situación para abordar la integración europea, pero para ello es urgente el desarrollo de modelos de calidad en todas las facetas de la actividad universitaria, con especial atención a las de la formación superior, para egresar titulados bien formados, capaces de competir en el entorno europeo con los de las universidades de referencia en cada materia. Con todo, la UA forma parte de la "European University Association" (EUA) y ha firmado convenios específicos con diversos centros y universidades de Alemania, Reino Unido, Francia, Italia, Holanda, Dinamarca y Noruega. Imparte docencia en diversos programas de doctorado y cursos de postgrado organizados conjuntamente con otras universidades europeas. También ha presentado varios proyectos conjuntos de títulos propios de carácter internacional. Así mismo, participa en los programas Sócrates/Erasmus. Al mismo tiempo despliega una presencia importante en Iberoamérica a través de proyectos como la sede universitaria de La Habana (Cuba). Las relaciones internacionales son pues preferentes en esta Universidad, con la presencia de más de un millar de estudiantes de otros países en nuestras aulas y la estancia de profesores e investigadores de otras latitudes.

1.3.2. La Escuela Politécnica Superior

La *Escuela Politécnica Superior* (EPS) (<http://www.eps.ua.es>) es el órgano básico encargado de la gestión administrativa y de la organización de las enseñanzas universitarias conducentes a la obtención del título de *Ingeniero en Informática*, objeto del perfil de la plaza. Además, en estos momentos (curso 2002-2003) se imparten las titulaciones de *Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas*, *Ingeniero Técnico en Informática de Gestión*, *Ingeniero Técnico en Telecomunicaciones* (especialidad Imagen y Sonido), *Ingeniero Técnico de Obras Públicas*, *Arquitecto Técnico* y *Arquitecto*, como títulos oficiales, y como títulos propios de la Universidad de Alicante, los Títulos Propios de Segundo Ciclo en *Ingeniería Civil* (con un Convenio Marco de Colaboración Universitaria Internacional con la Universidad de Ancona en Italia), en *Negocio Electrónico* ("e-business") conjuntamente con la Escuela Universitaria de Ciencias Empresariales "Germán Bernácer" y en *Gestión y Prevención de Riesgos Laborales en Edificación*. Con más de cinco mil estudiantes es uno de los mayores centros de la Universidad de Alicante.

La génesis histórica de la actual Escuela Politécnica Superior se remonta a la *Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas de Alicante (EUITOP)*, que se creó por Real Decreto 854/1968 de 4 de Abril, y comenzó a impartir los estudios en el curso académico 1971-72, estando adscrita a la Universidad Politécnica de Valencia. En el curso 1984-85 se implantan, dentro de la Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, los primeros cursos de Diplomatura en Informática y de Arquitectura Técnica, implicando un aumento muy importante en el número de alumnos. En 1987 el Consell de la Generalitat Valenciana crea, por el Decreto 101/1987 del 17 de Agosto, la *Escuela Universitaria Politécnica de Alicante (EUPA)* como transformación de la originaria Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas. La posibilidad de integración de la EUPA en la Universidad de Alicante estaba contemplada en el decreto de creación de ésta, en la que se establecía la posibilidad de la incorporación en ella de las Escuelas Universitarias existentes en la provincia de Alicante, dependientes de la Universidad Politécnica de Valencia, siempre y cuando existiese común acuerdo entre ambas Universidades y fuese solicitado por los órganos de gobierno competentes de las mismas.

Durante el año 1991 se producen dos eventos de crucial importancia para el centro: la adscripción a la Universidad de Alicante, y la aprobación, por parte del Consejo Interuniversitario de la Comunidad Valenciana, del segundo ciclo de Informática. Así, en 1991, los Consejos Sociales de dichas Universidades solicitaron la integración de la Escuela Universitaria Politécnica de Alicante en la Universidad de Alicante, habiéndose formalizado el acuerdo de las Universidades afectadas mediante la suscripción del correspondiente convenio, que concreta el traspaso de los medios humanos y materiales de una Universidad a otra. Tras cumplirse los requisitos establecidos en el citado Decreto 29/1979 de 30 de Octubre, era competencia del Gobierno Valenciano, de acuerdo con lo establecido en el artículo 35 del Estatuto de Autonomía de la Comunidad Valenciana y el artículo 9 y disposición final segunda de la Ley Orgánica 11/1983 de 25 de agosto de Reforma Universitaria, acordar la desvinculación de la Escuela Universitaria Politécnica de Alicante de la Universidad Politécnica de Valencia y su integración en la Universidad de Alicante. En dicho Decreto se establecen las condiciones de la integración, en cuanto a los efectos académicos y administrativos de su competencia, tanto en lo que se refiere a profesorado como a alumnado. Con el Decreto 82/1991 del 13 de mayo, del Consell de la Generalitat Valenciana, se desvincula la Escuela Universitaria Politécnica de Alicante de la Universidad Politécnica de Valencia, pasando a integrarse en la Universidad de Alicante como Escuela Universitaria Politécnica. Según la Disposición Transitoria primera de dicho Decreto, se establece que la incorporación tendrá efectos desde el 1 de mayo de 1991. Cabe reseñar también el contenido de la Disposición Final segunda, en la que textualmente se dice: “En los tres años siguientes a la integración de la Escuela Universitaria Politécnica de Alicante en la Universidad de Alicante, la Consellería de Cultura, Educación y Ciencia realizará las actuaciones oportunas para la transformación de dicho centro en Escuela Politécnica Superior”. De tal forma que en 1992 la EUPA se transforma en *Escuela Politécnica Superior (EPS)* y se aprueban los nuevos Planes de Estudios de las titulaciones de Informática para esta Universidad: Ingeniería Informática, Ingeniería Técnica en Informática de Gestión e Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas. En el curso 1992-93 se ponen en marcha los nuevos planes de estudio de las titulaciones de informática, teniendo prevista una implantación gradual.

A partir de este momento se incorporan nuevas titulaciones en la Escuela Politécnica Superior. El título de *Arquitecto* empieza a impartirse en el curso 1996-1997. El Título Propio de Segundo Ciclo en *Ingeniería Civil* comienza a impartirse en el curso académico 1998-1999 después de la firma entre la Universidad de Ancona (Italia) y la Universidad de

Alicante de un Convenio Marco de Colaboración Universitaria Internacional, firmado el 25 de Junio de 1999. El título de *Ingeniero Técnico en Telecomunicaciones* (especialidad Imagen y Sonido) se inicia en el curso 1999-2000. El Título Propio de Segundo Ciclo en *Negocio Electrónico* ("e-business"), compartido con la Escuela de Ciencias Empresariales "Germán Bernácer" inicia su andadura en el curso 2001-2002. Finalmente, el Título Propio de Segundo Ciclo en *Gestión y Prevención de Riesgos Laborales en Edificación* iniciado en el curso 2002-2003.

Los Departamentos Universitarios adscritos a la EPS son *Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial* (DCCIA), *Construcciones Arquitectónicas* (DCA), *Expresión Gráfica y Cartografía* (DEGC), *Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal* (DFISTS), *Ingeniería de la Construcción, Obras Públicas e Infraestructura Urbana* (DICOPIU), *Lenguajes y Sistemas Informáticos* (DLSI), *Matemática Aplicada* (DMA) y *Tecnología Informática y Computación* (DTIC). Adicionalmente dispone de secciones departamentales de *Economía Financiera, Urbanismo y Filología Inglesa*, así como también imparten clases profesores de otros departamentos del "campus".

1.3.3.El Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial

El Departamento de *Tecnología Informática y Computación* (DTIC) se creó el 25 de septiembre de 1991, con ocasión de la adscripción de los estudios de informática a la Universidad de Alicante, a partir de la sección delegada del Departamento de Sistemas Informáticos y Computación de la Universidad Politécnica de Valencia. Su objetivo general era desarrollar y coordinar la docencia y la investigación en las áreas de conocimiento de: *Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial* (CCIA), *Lenguajes y Sistemas Informáticos* (LSI) y *Arquitectura y Tecnología de Computadores* (ATC) que se incorporó poco después. A medida que cada una de las áreas de conocimiento obtuvo suficiente consolidación, se fue produciendo su segregación para formar departamento propio. Así, en 1995 se creó el Departamento de *Lenguajes y Sistemas Informáticos* (DLSI). En 1997 se creó el Departamento de *Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial* (DCCIA). A partir de este momento, el DTIC quedó reducido únicamente al área de conocimiento de *Arquitectura y Tecnología de Computadores*. En el departamento de *Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial* (DCCIA) (<http://www.dccia.ua.es>) es donde se realizará la labor descrita en este proyecto.

El departamento de *Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial* imparte docencia en primer y segundo ciclos de diversas titulaciones y centros de la Universidad de Alicante y oferta también estudios de tercer ciclo en Informática. En cuanto a docencia en primer y segundo ciclo, en el curso 2002-2003 el DCCIA imparte un total de 45 asignaturas de las cuales 24 son obligatorias o troncales y 21 son optativas. Además de las asignaturas correspondientes a las titulaciones de Informática, el departamento imparte docencia en asignaturas de diversas titulaciones que abarcan desde *Arquitectura, Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones* en la propia EPS hasta *Licenciatura en Matemáticas, Diplomatura en Ciencias Empresariales, Licenciatura en Administración y Dirección de Empresas, Licenciatura en Económicas y Licenciatura en Derecho*. Gran cantidad de la carga global del DCCIA corresponde a asignaturas optativas muy especializadas, cuya puesta en marcha y coordinación ha supuesto y sigue suponiendo un gran esfuerzo docente. En

cuanto a la docencia en Tercer Ciclo, viene realizándose desde el curso 1992-93 y en la actualidad se desarrolla en el marco del programa *Ingeniería Informática y Computación*.

Dada la naturaleza evolutiva y cambiante de la investigación y la flexibilidad para la creación de grupos de investigación, la estructura de los mismos es muy dinámica. En la actualidad existen dos grupos de investigación que integran a la práctica totalidad del personal docente del DCCIA:

- *Informática Industrial e Inteligencia Artificial (i3a)* con líneas de investigación abiertas en Análisis de Imagen y Visión Artificial, Agentes Inteligentes y Sistemas Multiagente, Robótica Móvil y Visualización y Gráficos.
- *Computación Paralela y Teoría de Matrices* con líneas de trabajo en Resolución de Sistemas Lineales mediante Métodos Iterativos Caóticos y Teoría Matricial. Análisis de Propiedades

La gestión del departamento¹ se articula en base a diversos órganos. Partiendo del *Consejo de Departamento* como órgano máximo de decisión que puede delegar parcialmente sus funciones en personas y comisiones, el DCCIA está dotado de una estructura de gobierno integrada por el *Director*, el *Secretario* y *Subdirectores* (hasta un máximo de dos). El *Consejo Permanente* es el órgano ejecutivo, que de tamaño reducido y formado por representaciones de los distintos colectivos, actúa por delegación del Consejo de Departamento. Además, pueden constituirse por indicación de las anteriores otras comisiones con carácter consultivo. A esta estructura deben añadirse las tareas de representación del Departamento en los centros y comisiones de la Universidad. En este momento el DCCIA está integrado por 53 personas, entre personal docente e investigador, becarios, administración y técnicos de laboratorio. El número de profesores pertenecientes al departamento es de 50, de los cuales 30 tienen dedicación completa y 20 dedicación parcial.

1.4. LA UNIVERSIDAD DEL SIGLO XXI

La idea actual de Universidad apenas ha cambiado en relación con el concepto tradicional de la misma. En el último año la Universidad Española ha sido protagonista y asunto de actualidad y portada en los medios de comunicación, suscitando grandes debates en torno a las bondades y los defectos de nuestra educación superior. En este sentido, existía una amplia aceptación en los actores principales de la vida universitaria sobre la necesidad de que se introdujesen cambios. Pero debemos plantearnos esta renovación no únicamente por la eterna tendencia al cambio y la evolución, sino además por enfrentarnos a un ritmo exagerado de transformaciones y demandas sociales, culturales, científicas y tecnológicas. Estas mismas reflexiones sobre la Universidad ya las abordaba a principios del siglo pasado Ortega y Gasset en su trabajo sobre la *Misión de la Universidad* [Ortega y Gasset, 1999], en el cual decía que “la raíz de la reforma universitaria está en acertar plenamente con su misión”. Parece una ingenuidad que casi un siglo después sigamos planteándonos debates muy similares. Así el *Informe*

¹ Reglamento del Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, aprobado en Consejo de Departamento de 2 de abril de 1998.

Universidad 2000 [Bricall, 2000] titula el primer capítulo de la primera parte “Cambios en la Misión de la Universidad”. Pero no se trata tanto de cambiar la misión de la Universidad como de adaptarla a los nuevos tiempos.

Parece clara la función de la Universidad como creadora, transmisora y gestora del conocimiento científico y técnico a nivel de enseñanza/aprendizaje y de investigación. Está además la función social de la Universidad en su relación con la cultura predominante no científica. Esta doble función de la Universidad, ya planteada por Ortega y Gasset, ha de plantearse en la sociedad actual, en la naciente sociedad del conocimiento y de la información y en un mundo globalizado. En palabras de José V. Merino, “ello no debe servir para plantear una disyuntiva en el proceso de construir hoy el modelo y funciones de la Universidad en la disyuntiva de elegir entre *ciencia/técnica/formación profesional* frente al polo configurado por la *dimensión cultural no científica*. El problema no radica en oponer. Hay que buscar, por el contrario, alternativas que ayuden a encontrar un equilibrio docente e investigador entre ambos polos”². No debemos plantearnos la universidad sobre una disyunción de funciones, aparentemente contradictorias y en perjuicio unas de otras, sino más bien como una pluralidad de funciones con un eje común. Así, “el modelo educativo de la universidad podría ser un instrumento de aproximación al equilibrio y la armonía, en cada plan de estudios, entre el humanismo, la ciencia y la tecnología. A partir de este equilibrio, es la opción del estudiante, con la elección de la titulación, la que otorga mayor peso a uno de estos factores, pero nunca eliminando los otros dos, ya que permite acercarse a la máxima *educar primero, enseñar después*, y los otros valores que impulsó la Institución Libre de Enseñanza desde 1876” [Michavila y Calvo, 1998]. De la misma manera, Edgar Morin escribe [Morin, 2001] que “entre el pensamiento científico, que separa los conocimientos y no reflexiona sobre el destino humano, y el pensamiento humanista, el cual ignora las aportaciones de las ciencias susceptibles de nutrir nuevos interrogantes sobre el mundo y la vida, el divorcio es total. Y peligroso. De ahí la necesidad de reforzar el pensamiento, nuestra capacidad para organizar el saber y reanudar el lazo entre las dos culturas divorciadas. De ahí los grandes desafíos de la enseñanza contemporánea: originar mentes bien ordenadas antes que bien llenas, enseñar la riqueza y la fragilidad de la condición humana, iniciar en la vida, afrontar la incertidumbre. En una palabra: formar el ciudadano del nuevo milenio”. En esta tarea social y cultural, y ante el exceso de información con el que se le bombardea diariamente, la Universidad ha de formar al ciudadano para el *consumo cultural y científico*.

Además, en palabras de Francisco Michavila director de la Cátedra UNESCO de Gestión y Política Universitaria de la Universidad Politécnica de Madrid, “las estrategias de mejora de la calidad serán banales o retóricas si no están acompañadas con un esfuerzo mucho mayor en dotación de más recursos a las universidades, a la vez que el Gobierno de turno exija la eficiencia en su uso”³. De forma que al mismo tiempo que se solicita una mayor inversión en educación, se demanda un sistema de rendición de cuentas a posteriori a la sociedad y una evaluación de los resultados alcanzados, que actúe de contrapeso a la

² José V. Merino Fernández, “Funciones de la Universidad en la sociedad actual. La función cultural y social de la Universidad. ¿Es todavía posible esta doble función en la sociedad del conocimiento y de la información”, en *Calidad de las Universidades y Orientación Universitaria*, (coord.) Víctor Álvarez y Ángel Lozano, página 37.

³ *Calidad de las Universidades y Orientación Universitaria*, (coord.) Víctor Álvarez y Ángel Lozano, página 10.

autonomía universitaria. La combinación equilibrada de ambos aspectos es la que debe impulsar los cambios que las instituciones de educación superior proyectarán en las primeras décadas del siglo XXI.

El profesor Michavila en la conferencia *La Técnica y los Valores Ciudadanos en el Espacio Europeo de Educación Superior*, ofrecida con motivo de la reciente apertura del curso 2002-2003 de la Escuela Politécnica Superior lanzaba la siguiente cuestión “¿cuál es el modelo de educación universitaria, en particular de formación de técnicos, capaz de contribuir en la transformación de la sociedad actual en otra mejor, más humana y solidaria?”, para a continuación remarcar que “no son preguntas retóricas; por el contrario, se puede afirmar sin mucho riesgo de equivocarse que las Facultades y las Escuelas tradicionales –con sus rígidos esquemas de impartición de clases y obtención de títulos– no son adecuadas para alcanzar dichos objetivos”. Existen interrogantes en el ambiente que muchos nos hacemos en relación con la universidad. Preguntas, las más de las veces, difíciles de responder, pero lo que es más triste, en muchas ocasiones sin ninguna intención de buscar respuesta, asumiendo que son precisamente eso, preguntas retóricas que quedan muy bien en el papel y que no tienen reflejo en nuestra labor diaria. Craso error, y la universidad lo pagará caro si no es capaz de estar a la altura de los nuevos tiempos.

Requerimos, pues, una Universidad *flexible y abierta* en orden a responder a los retos que la sociedad, el desarrollo cultural, científico, técnico y profesional le demandan en cada momento histórico. Al mismo tiempo es necesaria *independencia y autonomía* para mantener su capacidad de crítica. Debe existir también un equilibrio entre sus componentes *local y universal*

Para finalizar este capítulo, comentar que “entre las transformaciones radicales que convienen a la institución universitaria se encuentra la sustitución de los “viejos” métodos de enseñanzas, principalmente reactivos, por los nuevos sistemas de aprendizaje con métodos proactivos y la participación esencial del estudiante en el diseño de su currículo”⁴, lo que nos lleva directamente al próximo capítulo, el *cómo* de la tarea docente.

⁴ Francisco Michavila, en la página 11 del prólogo del libro *Calidad de las Universidades y Orientación Universitaria*, (coord.) Víctor Álvarez y Ángel Lozano.

CAPÍTULO 2

¿CÓMO ...?

EL CONTEXTO DE APRENDIZAJE

Lo que constituye una operación vital es saber, llegar a saber, aprender. El conocimiento es el rendimiento de un organismo vivo que se enriquece, que llega a ser más, que avanza hacia sí mismo. Los humanos no poseemos un saber innato ni podemos adquirirlo como el que se apropia de un bien mostrenco, por el simple procedimiento de fotocopiar unos apuntes, mirar la pantalla de un ordenador, escuchar una clase o leer un libro. El saber no es naturaleza sino praxis vital, así como la huella que el renovado ejercicio de esa actividad vital deja en nuestros cuerpos y en nuestras mentes.

A. Llano, *Una ética para la sociedad del conocimiento*

En este segundo capítulo plantearemos el *contexto de aprendizaje*, representado por las características del proceso de enseñanza/aprendizaje, la búsqueda de la calidad educativa y la utilización de recursos adecuados. Estamos en la época del *know-how*, en la que importa saber el *cómo* se hace algo. Pero ese saber hacer tan de moda en la técnica y la investigación no es usado en la docencia. Incluso los dedicados a ella reconocen su impotencia “lo siento; después de muchos, muchísimos años de tratar de enseñar y tratar todo tipo de métodos diferentes, realmente no sé cómo hacerlo” [Feynman, 2000]. Ello denota que no es fácil ni existe una fórmula mágica que nos diga *cómo* enseñar.

Con la intención de poner en marcha el proceso de profunda reforma que demanda la educación superior, la UNESCO convocó la *Conferencia Mundial sobre la Educación Superior en el siglo XXI: Visión y Acción* que se celebró en París del 5 al 9 de octubre de 1998. En su posterior declaración, en el artículo 9, Métodos educativos innovadores: pensamiento crítico y creatividad, apartado a) dice “en un mundo en rápido cambio, se percibe la necesidad de una nueva visión y un nuevo modelo de enseñanza superior, que debería estar centrado en el estudiante, lo cual exige, en la mayor parte de los países, reformas en profundidad y una política de ampliación del acceso, para acoger a categorías de personas cada vez más diversas, así como una renovación de los contenidos, métodos, prácticas y medios de transmisión del saber, que han de basarse en nuevos tipos de vínculos y de colaboración con la comunidad y con los más amplios sectores de la sociedad” [UNESCO, 1998].

2.1. REFLEXIONES SOBRE EL PROCESO DE ENSEÑANZA / APRENDIZAJE

La enseñanza/aprendizaje es un proceso bipolar, donde en un extremo se encuentra la *enseñanza* cuyo protagonista principal es el profesorado y en el otro el *aprendizaje* cuyo protagonista principal es el alumnado. Es claro que ambos términos no son lo mismo, pero son dos caras de una misma moneda y por tanto indisolubles. A partir de este momento cuando utilice cualquiera de los dos vocablos, en realidad me estaré refiriendo al binomio enseñanza/aprendizaje.

En el informe sobre educación presentado a la UNESCO en 1996 y coordinado por Jacques Delors, se indica que los cuatro pilares en los que se basa la educación son:

- *Aprender a conocer*, actividad más tradicional de la enseñanza a través de la transmisión de conocimientos del profesor al alumno, aunque complementada con nuevos aspectos.
- *Aprender a hacer*, visión práctica de la misma, mediante la capacitación del estudiante para enfrentarse a determinadas tareas.
- *Aprender a vivir juntos*, desarrollando la comprensión del otro y los valores del pluralismo y la percepción de las formas de interdependencia, sin renunciar a las propias ideas.
- *Aprender a ser*, supone el desarrollo de la personalidad, de la autonomía personal, del juicio y de la responsabilidad.

Como aperitivo sirvan una serie de frases, a modo de pintadas que podrían aparecer en las paredes de nuestros campus, que he recopilado a lo largo del tiempo dedicado a la docencia y que, en cierta medida, resumen mi filosofía respecto al proceso de enseñanza/aprendizaje.



Pero las reflexiones sobre el proceso de enseñanza/aprendizaje no son nuevas, “la primera finalidad de la enseñanza fue formulada por Montaigne: es mejor una mente bien ordenada que otra muy llena. /.../ Una mente bien formada es una mente apta para organizar los conocimientos y de este modo evitar su acumulación estéril”⁵. Nuestra labor como profesores ante nuestros estudiantes está limitada por el espacio y el tiempo. No debemos pretender transferirles todo lo que consideramos que deben saber simplemente por el mero hecho de contárselo. Debemos traspasar las barreras del tiempo y enseñarles a que quieran y puedan continuar aprendiendo al abandonar nuestras aulas, debe *aprender a aprender*. Más si cabe en nuestro campo, dónde el avance de la Ciencia y la Técnica, y en particular de la Informática, es vertiginoso. Cuando los alumnos que ahora tenemos ante nosotros se conviertan en profesionales es probable que los instrumentos de que dispongan en el ejercicio de su actividad y las técnicas que empleen sean sensiblemente diferentes a las que nosotros hayamos podido describir. Lo que ahora importa, no es tanto poseer una información determinada, sino fundamentalmente haber adquirido la capacidad para descubrir y saber encontrar esa información. Concebido así el proceso educativo, la misión encomendada al educador cambia, pasando en gran medida a transformarse en un director y organizador de la situación de aprendizaje.

Debemos tener en cuenta que el concepto de aprender implica tanto el asimilar y reconstruir *conocimientos*, como adquirir y usar *destrezas* y desarrollar *actitudes*. Por ello, al

⁵ Edgar Morin, *La mente bien ordenada*, páginas 25 y 29.

enunciar los objetivos que se quieren alcanzar en la programación docente se deberá tener en cuenta plantear objetivos de cada uno de estos ámbitos:

- *dominio cognoscitivo*: relacionados con las informaciones y comprensiones
- *dominio psicomotriz*: relacionados con los hábitos, habilidades y destrezas
- *dominio afectivo*: relacionados con las actitudes, intereses e ideales

2.1.1. Metodología Docente

Permítaseme una breve cita antes de entrar a plantear una metodología docente concreta. “Quienes la inventaron, concibieron la Universidad ante todo como un lugar de diálogo; de discusión franca de las ideas; de intercambio creativo de pareceres; de exploración de los modos de pensar más aptos para aportar comprensión. No era una pasiva y memorística transmisión de conocimientos, sino un ejercitarse en adquirir la musculatura mental necesaria para vivir inteligentemente”⁶. Si esto es así, no nos desviemos de su filosofía inicial y sobre todo no nos escudemos en el elevado número de estudiantes.

El *constructivismo* es una corriente metodológica que enfatiza la construcción de nuevo conocimiento y maneras de pensar mediante la exploración y la manipulación activa de objetos e ideas, tanto abstractas como concretas. En este sentido, considera tan importante o más que la presentación ordenada de un cuerpo de conocimientos, plantear los problemas a cuyo estudio está asociado dicho conocimiento. Una enseñanza que se limita a presentar los conocimientos elaborados, escondiendo todo el proceso que conduce a su elaboración, impide que los alumnos puedan hacer suyas las nuevas ideas. Las características principales de la visión constructivista se pueden resumir en:

- a) Quien aprende *construye activamente significados*.
- b) Es preciso contar con las *preconcepciones del alumno*, convirtiéndose en el punto de partida del proceso enseñanza-aprendizaje: lo que hay en el cerebro del que va a aprender tiene importancia.
- c) El aprendizaje se plantea a partir de *situaciones problemáticas* y no desde la transmisión de conocimientos ya elaborados que olvida los problemas que condujeron a su construcción.
- d) Se transforman los contenidos científicos objeto de aprendizaje (ya sean conocimientos, destrezas o capacidades) en *actividades* a través de las cuales el alumno pueda construir conocimientos y adquirir destrezas y capacidades.
- e) Encontrar sentido supone *establecer relaciones*: los conocimientos que pueden conservarse permanentemente en la memoria no son hechos aislados, sino aquellos muy estructurados y que se relacionan de múltiples formas.
- f) Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje.

Así, para provocar cambios conceptuales en los alumnos, la secuencia de actividades incluiría:

- a) la identificación y clarificación de las ideas que ya poseen los alumnos

⁶ Tirso de Andrés, *Homo cybersapiens. La inteligencia artificial y la humana*, página 341

- b) la puesta en cuestión de las ideas de los estudiantes a través del uso de contraejemplos
- c) la introducción de nuevos conceptos, bien mediante *tormenta de ideas* de los alumnos, o por presentación explícita del profesor, o a través de materiales de instrucción
- d) proporcionar oportunidades a los estudiantes para usar las nuevas ideas y hacer así que adquieran confianza en las mismas.

En este proyecto propongo un modelo híbrido, que toma los aspectos relevantes de distintas metodologías dando forma a un modelo intermedio. Se asigna a la clase magistral un papel relevante en la transmisión de conocimientos y se sitúa el papel activo en la conexión de los mismos con la experimentación y preconcepciones. Según distintas investigaciones, después de 20 minutos la atención decae salvo que se incluyan breves actividades para los estudiantes. El cambio de actividad renueva la atención. Para ayudar a los estudiantes a aprender es necesario [Brown y Atkins, 1988]:

- diagnóstico de los conocimientos previos de los estudiantes
- permitir diversidad de orientaciones y estilos de aprendizaje
- desarrollar el “aprender a aprender” o habilidades metacognitivas

2.1.2. Diseño de las Lecciones

Iba a titular este apartado como *Buenas Lecciones*, inspirado por la lección inaugural impartida por mi amigo y compañero de universidad, Narcís Sauleda, en el solemne acto de apertura del curso académico 2002-2003 de la Universidad de Alicante titulada *Lliçó inaugural i auguri de bones lliçons* [Sauleda, 2002], en la cual hace unas reflexiones sobre cómo deben ser las lecciones universitarias, con la finalidad de explorar las alternativas posibles a los problemas didácticos. En ella enuncia diez proposiciones que deben constituir el núcleo de la reflexión al articular las lecciones:

1. Compromiso ético: profesores y alumnos son personas educadas que se respetan y honran desde su compromiso con la búsqueda del saber.
2. Investigación de los problemas del saber.
3. La comunidad de aula: redes de colaboración e individualización.
4. Investigar en el ciberespacio: los no-humanos también cuentan.
5. La mejora del currículo: conocimiento local y universal.
6. Respeto y comprensión del pensamiento de los alumnos
7. El aprendizaje a lo largo de toda la vida o aprendizaje vitalicio
8. Las dimensiones sociales del conocimiento
9. El trabajo en el aula ha de acoger debidamente a las poblaciones de estudiantes diversos
10. Coherencia de la evaluación auténtica de las ejecuciones de los alumnos con los propósitos educativos

Muchas han sido las críticas que recibe la *lección magistral*: reducir las fuentes de información a la palabra del profesor, favorecer la pasividad del alumno, falta de control del aprendizaje, uniformidad en el ritmo de aprendizaje, etc. Pero a pesar de ello la lección magistral sigue siendo el método más usado en didáctica universitaria, sobre todo en las universidades masificadas, ya que tiene algunas ventajas: proporciona información de forma rápida y económica, síntesis de fuentes de información diversas, da seguridad al

alumno, facilidad en la comprensión de temas complejos, etc. De todas maneras, toda metodología debe adecuarse a los objetivos que busca alcanzar, y por lo tanto debemos introducir en la enseñanza superior otros métodos que consigan objetivos que no son accesibles con las solas lecciones magistrales, y mejorar la efectividad de este método. Pese a justificar la utilización de la lección magistral como elección “obligada” por la masificación de nuestras aulas, debemos preparar el camino para la utilización de otras metodologías en tiempos mejores, esperablemente cercanos, cuando mejore la ratio profesor/alumno.

Para ello, una vía de trabajo es mejorar el aprendizaje de los alumnos mediante el *aprendizaje activo* (actividades, técnicas de grupo, uso de la pregunta en clase, enseñar a aprender, tutorías, debates y discusiones, etc.). Hay que saber aprovechar y conducir la *dinámica de interacción*. Ausubel argumenta que el factor aislado que más influencia ejerce en el aprendizaje de los estudiantes es lo que ya saben, los conocimientos previos; por lo tanto hay que averiguarlo y enseñar a partir de ello. La premisa básica es simple: “el aprendizaje significativo resulta cuando nueva información es adquirida mediante un esfuerzo deliberado de parte del aprendiz por ligar la información nueva con conceptos o proposiciones relevantes preexistentes en la estructura cognitiva del aprendiz” [Ausubel, Novak, y Hanesian, 1978]. Ante un aprendizaje repetitivo, plantea un *aprendizaje significativo*, caracterizado por:

- El material a aprender debe estar conceptualmente claro y expresado con un lenguaje y ejemplos relacionados con el conocimiento previo del estudiante.
- El estudiante posee conocimientos relevantes previos.
- El estudiante debe elegir para aprender significativamente.

Cuatro serían los momentos en el desarrollo de una buena lección [Cruz-Tomé, 1981]:

- 1.- *Preparación y diseño*: formulación de objetivos, organización de los contenidos, preparación de actividades para los alumnos, preparación de preguntas, etc. Esta fase sería previa a la actuación en el aula.
- 2.- *Introducción*: ganar la atención de la audiencia, establecer relaciones con el grupo, despertar el interés, motivar hacia la tarea, presentación de objetivos, resumen general introductorio, estimular la actualización de aprendizajes previos, ...
- 3.- *Cuerpo*: estructuración del contenido, claridad expositiva, secuenciación, mantenimiento de la atención y del interés, cantidad adecuada de contenido, velocidad y ritmo adecuados, expresividad, introducción de actividades, ...
- 4.- *Conclusión*: el objetivo es intensificar la retención, para ello haremos un resumen, énfasis en las ideas principales, relacionar los conocimientos y sus aplicaciones, preguntas, referencias bibliográficas, ...

La lección se puede complementar con el uso efectivo de recurso y medios audiovisuales: pizarra y/o pizarra táctil, transparencias y retroproyector, diapositivas, modelos, cañón de proyección y ordenador ... Este aspecto lo trataré en un apartado posterior.

2.1.3.El Alumnado

Este apartado está dedicado al colectivo universitario mayor en número y destinatario de nuestra tarea docente, y sin duda el que está teniendo una más rápida

transformación. En un primer momento analizaré algunos aspectos cuantitativos para pasar posteriormente a cuestiones cualitativas. Como ya se ha dicho, las últimas décadas del siglo XX supusieron un aumento notable del número de estudiantes, pasando de un sistema universitario de élite a un sistema de masas. Sirvan para apoyar estas palabras algunos datos. Entre 1960 y 2000 el alumnado universitario se ha multiplicado por 25. Así, en el curso 1999/2000 hubo aproximadamente un millón y medio de alumnos matriculados. De estos, casi la cuarta parte de los alumnos están matriculados en enseñanzas técnicas (378.346 alumnos, el 23'92%). El crecimiento ha sido aún más rápido en lo que respecta a Tercer Ciclo (Doctorado), cuadruplicándose en las dos últimas décadas el número de matriculados (de 15.224 estudiantes en el curso 1979/1980 a 61.483 en el curso 1999/2000). Pero este crecimiento parece haber tocado fin y las previsiones para los próximos años, basadas en los datos de natalidad, parecen apuntar a un descenso de hasta 600.000 estudiantes universitarios en el año 2010. Otro aspecto que ha caracterizado este cambio ha sido la incorporación y participación de la mujer en la universidad española. Podemos decir que no existe desigualdad entre hombres y mujeres ante el acceso a la educación superior. Por ejemplo, en el curso 1999/2000 las mujeres representaban el 53'16% de los estudiantes universitarios. En cambio sí que se aprecia diferenciación en cuanto a la clase de estudios, apreciándose una escasa presencia de las mujeres en las carreras técnicas. Esto contrasta con los resultados de rendimiento, en el que la proporción de mujeres egresadas es superior al de hombres (en el curso 1998/1999, el 58'98% de los graduados eran mujeres).

Desde el punto de vista estratégico, la tendencia actual camina hacia una figura central del alumno, traspasando el centro de gravedad de la enseñanza desde los profesores a los estudiantes, convirtiendo a los estudiantes en protagonistas activos de la actividad universitaria. Como se ha visto el sistema de créditos europeo se basa en la medida del trabajo del estudiante. La docencia universitaria debe perseguir un *aprendizaje autónomo*, de forma que el estudiante se haga responsable de su propio aprendizaje. Hay que evitar, o al menos paliar, lo que E. Gil Calvo llama el "perfil mercenario del universitario profesional" característico del estudiante español de nuestros días que hace poco uso de la variada gama de servicios que la universidad le ofrece y utilizan la universidad exclusivamente como medio para obtener el título que la sociedad le reclama. Tendencia si cabe más señalada en los estudiantes de estudios tecnológicos.

De lo anteriormente expuesto se puede concluir que, en general, se procurará potenciar en los alumnos las capacidades para:

- Gestionar y controlar su propio aprendizaje
- Desarrollar un espíritu crítico y una actitud abierta ante cambios de todo tipo que afecten a la sociedad en la que vive y en especial a los cambios científico-técnicos de su especialidad.
- Fomentar actitudes y adquirir técnicas para un eficaz trabajo en equipo.
- Desarrollar actitudes de curiosidad intelectual y rigor científico.
- Basar en criterios deontológicos su futuro comportamiento en el ejercicio de la profesión.
- Valorar el sentido humanístico de la ciencia y la técnica como resultado del esfuerzo de generaciones anteriores, que debe servir para resolver los problemas del hombre actual y futuro.

- Estimular el perfeccionamiento profesional y la formación continuada.

Para finalizar este apartado, debemos tener en cuenta los cambios que están experimentando las características del alumnado y que presumiblemente se afianzarán. No únicamente debemos atender al “alumno universitario típico”, lo que podríamos llamar de profesión estudiante, que una vez finalizada su formación secundaria accede a la Universidad para dedicarse a tiempo completo a su formación y que una vez titulado tiene “reservado” un puesto de trabajo social y económicamente acomodado. Este perfil del alumnado universitario ha cambiado. Además se incorpora un, cada vez mayor, grupo de adultos en busca de formación universitaria, desde profesionales que necesitan una formación continua (cursos de postgrado o formación continua) hasta adultos que se incorporan por primera vez o vuelven a las aulas con el afán de aprender (Universidad Permanente o Aulas de Mayores). Esta *formación permanente* adquirirá gran protagonismo en la vida universitaria en un futuro próximo y supondrá una verdadera revolución en la concepción de la Universidad. Implica un *modelo cíclico* de formación que conlleva una vuelta periódica a la Universidad, en contraposición al *modelo lineal* actual consistente en un primer período de formación, seguido del resto de la vida para desarrollar una profesión.

2.1.4.El Papel de los Docentes

El profesorado es la piedra angular de la universidad, son los buenos profesores los que harán posible cualquier planteamiento original o innovador de la formación universitaria. Así, “los buenos profesores, *los maestros*, atraen el interés por aprender del estudiante más que el mejor texto, y tiene algo de mágico la manera en que la admiración personal por el *profesor sabio y bueno* se traslada a la materia que imparte, la convierte en fácil, más apasionante, y consigue hacer brotar la verdadera vocación” [Michavila, 2001]. Los docentes deben hacer un esfuerzo para asimilar algunos conceptos fundamentales que se repiten continuamente, pero sobre los que nunca se reflexiona lo suficiente y, tristemente, pocas veces tienen un claro reflejo en la actividad docente. Una reciente investigación dirigida por el profesor Álvarez Rojo describe lo que sería un perfil deseable del profesor universitario, esquematizado en un profesional motivado y entregado a su trabajo docente, que desarrolla una metodología activa en el aula que permite al alumno ser el protagonista de su aprendizaje, que potencia el trabajo en grupo y la cooperación, la discusión y el debate, que conecta el estudio con la realidad y que sabe utilizar los recursos audiovisuales y tecnológicos a su alcance.

Una primera pregunta que debemos plantearnos es ¿qué han de *saber* y *saber hacer* los profesores y profesoras para favorecer un aprendizaje efectivo de los alumnos y alumnas e impartir una docencia de calidad? Para la elaboración del saber didáctico es imprescindible la integración del conocimiento de la materia, del conocimiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje y del conocimiento de la práctica docente. Un buen profesor de informática además de tener un nivel adecuado de la misma debe saber transmitir este conocimiento a los demás [Gal-Ezer y Harel, 1998]. Claramente hay un consenso generalizado entre el profesorado de la importancia de un buen conocimiento de la materia a enseñar. Y los alumnos son extraordinariamente sensibles a este dominio de la materia por el profesorado. Evidentemente, una falta de conocimientos científicos constituye la principal dificultad para que los profesores afectados se impliquen en

actividades formativas nuevas. La segunda dificultad para una actividad docente creativa, procede de aquello que los profesores ya sabemos, de lo que constituye el *pensamiento docente de sentido común*. Los profesores tienen ideas, actitudes y comportamientos sobre la enseñanza debidos a una larga formación ambiental durante el período en que fueron alumnos. Así, no debemos caer en situaciones que nos lleven a reducir el aprendizaje de las ciencias a ciertos conocimientos y, a lo sumo, algunas destrezas, olvidando aspectos históricos, sociales, actitudes, etc. y la idea errónea de que enseñar es fácil.

Pese a que el profesor universitario debe realizar tareas de *docencia, investigación y gestión*, no todas ellas están situadas en un plano de igualdad. En los últimos tiempos, con motivo de la reforma de la ley de universidades, se ha hablado mucho del procedimiento para seleccionar a los profesores, pero muy poco de cómo formarlos, de prepararlos para la función docente. Así, únicamente recibe formación para el desempeño de la actividad investigadora (estudios de doctorado). No es de extrañar, por tanto, que el propio profesorado exija cada vez con mayor fuerza una formación como profesor universitario, expresada tanto en una formación inicial como en una formación continua. Entre los problemas del profesorado, el Informe Universidad 2000 plantea “la pérdida de valor y a veces hasta la degradación de la función docente en relación con la función investigadora”. Aunque el problema es complejo y delicado, se necesita un cambio en el sistema de acceso y promoción del profesorado universitario. Bess⁷ afirma que se podrán conseguir mejoras significativas de la docencia en la enseñanza superior a partir, entre otras actuaciones, de cambios en la selección del profesorado, no por su investigación sino por su competencia docente. Murray⁸ plantea que el profesorado pondrá esfuerzo y talento en la mejora de la docencia si la excelencia en la misma contribuye significativamente a la reputación y autoestima del profesor y si la evaluación de la docencia contribuye significativamente a la promoción y al incremento salarial.

Para finalizar este apartado, resaltar algunos aspectos de actitud del profesorado y de *puesta en escena*. Entre ellos la consideración de que el profesor debe transmitir su entusiasmo por aquello que se está estudiando. Dicho entusiasmo es detectado por el alumnado y despierta el interés por la materia y las clases. Asimismo el profesor debe ser un actor que se enfrenta a una audiencia y la puesta en escena son puntos a su favor. No debemos obviar que casi dos terceras partes de la comunicación entre las personas es no verbal y se transmite a través de los gestos, las expresiones y el lenguaje corporal. Debemos controlar la voz, cuidando la entonación de las distintas frases y hablando con seguridad. Los cambios de ritmo del discurso nos pueden ayudar a captar la atención, así como las pausas nos ayudan a remarcar los puntos clave. Es conveniente mantener el contacto visual con los asistentes; la mirada establecerá una relación amistosa con la audiencia. Por otro lado, el optimismo y la confianza en un mundo mejor deben acompañar al profesor; en palabras de Fernando Savater, “en cuanto educadores no nos queda más remedio que ser optimistas, ¡ay! Y es que la enseñanza presupone el optimismo tal como la natación exige un medio líquido para ejercitarse. Quien no quiera mojarse, debe abandonar la natación; quien sienta repugnancia ante el optimismo, que deje la enseñanza y que no pretenda *pensar* en qué consiste la educación. Porque educar es creer en la perfectibilidad humana, en la capacidad innata de aprender y en el deseo de

⁷ A. L. Bess, “Sow’s eras and silk purses: can teachers be made if they’re not born to the task?”, en *Faculty as Teachers*, The Pennsylvania State University (1993).

⁸ H. G. Murray, “Summative Evaluation and Faculty Development: A Synergistic Relationship?”, en *Faculty as Teachers*, The Pennsylvania State University (1993).

saber que la anima, en que hay cosas que pueden ser sabidas y que merecen serlo, en que los hombres podemos mejorarnos unos a otros por medio del conocimiento” [Savater, 1997]. Resumiendo, *entusiasmo*, *interpretación* y *optimismo* son cualidades que beneficiarán la labor de los docentes.

2.2. CALIDAD EDUCATIVA

Una vez la universidad española ha alcanzado un valor cuantitativo adecuado es el momento de realizar un esfuerzo en los aspectos cualitativos. En la actualidad ninguna Universidad pone en duda la necesidad de evaluar la calidad de la institución. La cultura de la calidad ha arraigado. Pero no es fácil definir la calidad ni existe un único modelo de evaluación (norma ISO-9000 y modelo EFQM “European Foundation for Quality Management”). Aunque sí que parece que hay acuerdo en que el sistema de calidad debe extenderse a todos los niveles, desde la universidad como institución global, pasando por cada uno de sus grandes parcelas (investigación, transferencia, docencia, extensión universitaria, etc.) y unidades (departamentos, centros, institutos, etc.) hasta el nivel de cada uno de sus miembros (PDI y PAS).

Tal como aparece en [Álvarez Rojo y Lázaro Martínez, 2002] “la calidad en educación se ha de valorar en función de lo que se ha de entender como educación y formación (*Calidad de concepción*) y el ajuste de ese concepto con el proceso de logro de lo que se ha concebido (*Calidad de conformidad*); esto es, la acomodación entre lo que se pretende (*Objetivos*) y el proceso para conseguirlo (*Intervención educativa*)”. Las universidades deberían introducir en su *Plan Estratégico* programas de calidad. Si consideramos las *amenazas* como los factores del entorno sobre los cuales no se puede intervenir, pero que si ocurren pueden afectar el funcionamiento del sistema y dificultar o impedir el cumplimiento de la misión; las *oportunidades* como los factores que pueden manifestarse en el entorno, sin que sea posible influir sobre su ocurrencia o no, pero que posibilita aprovecharlas, si se actúa en esa dirección; las *fortalezas* como los principales factores propios de la organización que constituyen los elementos más poderosos, en los que deben apoyarse para cumplir la misión; y las *debilidades* como los principales factores negativos de la organización que de no superarse, impedirán cumplir la misión. Podemos concluir que la *solución estratégica general* será potenciar plenamente las fortalezas para aprovechar óptimamente las oportunidades que brinda el entorno, superando las debilidades de la organización para atenuar los efectos de las amenazas.

2.2.1. Evaluación de la Calidad y Acreditación

En la segunda mitad del siglo XX, el aumento de la demanda de educación superior llevó a un crecimiento considerable del número de centros y la asignación de mayores recursos económicos. Por otro lado, las Universidades adquieren mayores niveles de autonomía y por tanto, en contrapartida, deben rendir cuentas a la sociedad. Otro aspecto destacado de los últimos tiempos es la internacionalización de los niveles educativos superiores. Todas estas circunstancias nuevas de la Universidad originan

distintas iniciativas encaminadas a asegurar y contrastar la calidad de las mismas. Existen distintos modelos y sistemas de control de calidad, utilizados en distintos países, desde el sistema de acreditación de los Estados Unidos a los comités de evaluación con expertos externos. Aunque en lo que coinciden la mayoría de los países es en la creación de agencias nacionales. El sistema de calidad implantado en un sistema universitario nacional deberá facilitar la transparencia y la transportabilidad hacia otros sistemas universitarios. “La acreditación de enseñanzas universitarias se entiende como el reconocimiento explícito, basado en una evaluación previa, sobre el cumplimiento de los objetivos que un determinado programa formativo se propone, alcanzando niveles mínimos de calidad previamente definidos y aceptados por expertos en la temática” [Michavila y otros, 2002a]. Como ya se ha dicho anteriormente la acreditación es uno de los pilares sobre los que se apoyará el espacio europeo de educación superior.

En España, el Consejo de Ministros celebrado el 19 de julio de 2002 autoriza al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte a la creación de la Fundación estatal *Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA)*. Su principal objetivo es medir el rendimiento del servicio público universitario y reforzar su calidad, transparencia y competitividad. En el documento figura que “la Agencia Nacional de Evaluación permitirá introducir elementos de innovación, competitividad y mejora de la calidad de las Universidades de manera transparente, lo que conferirá vigor y credibilidad al sistema universitario. De este modo, se pretende sentar las bases para la consecución de una Universidad moderna, fundada en la calidad e integrada a nivel europeo”. Por su parte, la Generalitat Valenciana en la ley 5/2002, de 19 de junio, crea el *Consejo Valenciano de Universidades* y la *Comisión Valenciana de Acreditación y Evaluación de la Calidad en el Sistema Universitario Valenciano* [Ley 5/2002 de GV, 2002].

Algunos aspectos clave de los métodos de evaluación de la calidad que se han empleado son:

- *La responsabilidad de la evaluación*, desde un extremo dónde la responsabilidad la recae en el gobierno, con un enfoque unidireccional de control de tipo burocrático, hasta el otro extremo donde la iniciativa surge de las conferencias de rectores, con un enfoque centrado en la mejora. Habría que buscar un equilibrio entre la necesidad de rendir cuentas ante la sociedad y las expectativas de la propia institución de alcanzar una mejora de la calidad.
- *El papel de las agencias de evaluación*, desde agencias que realizan funciones puramente administrativas hasta otras que desempeñan un papel fundamental en todo el proceso.
- *El ámbito de los procesos de evaluación*, implicando únicamente a las universidades o también incluyendo a los niveles de educación superior no universitaria.
- *Enfoques de los procesos de evaluación*, distinguiendo cinco tipos de evaluaciones: temáticas, de programas, institucional, auditoría y acreditación.
- *Elementos metodológicos*, con una serie de elementos comunes, como son, la autonomía e independencia en términos de procedimientos y metodología, que consiste en la *Autoevaluación* (o evaluación interna), la *Evaluación Externa* y el *Informe Público Final*.
- *Proceso de seguimiento*, que aunque en algunos países no forma parte del proceso de evaluación, sería conveniente que se integrara en los principios metodológicos.

Los precursores en España fueron el *Programa Experimental de la Calidad del Sistema Universitario* (1992-1994) cuyo objetivo fue poner a prueba una metodología de evaluación institucional inspirada en las experiencias internacionales y el *Proyecto Piloto Europeo*

(1994-95) que reunió en una misma orientación metodológica la evaluación de la enseñanza superior de 17 países participantes. En 1995 se establece el *Plan Nacional de Evaluación de la Calidad de las Universidades* (PNECU) [PNECU, 1995] con una duración prevista de cinco años (1995-2000), con convocatorias anuales de proyectos de evaluación institucional. Finalmente sólo se han realizado cuatro convocatorias: la primera en 1996, la segunda en 1998, la tercera en 1999 y la última en 2000. La Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante se ofreció a que se evaluaran las tres titulaciones relacionadas con Informática que se imparten en la misma, así la Ingeniería Informática participa en este plan en la convocatoria de 1998. En estos momentos está en marcha el *II Plan de la Calidad de las Universidades* [IIPCU, 2001], con nuestro sistema universitario participando en la iniciativa de la Unión Europea "European Network for Quality Assurance". Este segundo plan tendrá una vigencia de seis años, con convocatorias anuales que establecerán las modalidades, condiciones y requisitos para la concurrencia al mismo. La Universidad de Alicante, es su planificación plurianual, tiene previsto evaluar las titulaciones de la Escuela Politécnica Superior y los departamentos adscritos a la misma en la anualidad del 2006 y cuya revisión se realizaría en el año 2010.

2.2.2. Innovación Universitaria

La mejora de la calidad de la enseñanza universitaria será el resultado de las acciones llevadas a cabo en los distintos niveles de decisión del sistema universitario: a nivel del sistema, a nivel de la institución y a nivel de las unidades funcionales. Pero una vez evaluada la calidad ¿qué puede hacerse para mejorar la enseñanza universitaria? A lo largo de este capítulo he ido planteando cuestiones que pueden ayudarnos en este sentido. La innovación será el objetivo que perseguimos al asumir una evaluación orientada a la mejora de la calidad.

Maticemos algunos términos utilizados antes de definir el concepto de innovación. Se entiende por *cambio* al acto de realizar algo diferente o a la observación que nos aporta evidencia de que algo es diferente; el *progreso* implica un juicio de valor sobre la naturaleza del cambio, es decir, el cambio ha sido en la dirección deseada; la *innovación* se refiere a la idea, práctica o recurso que es percibido como nuevo por la persona o grupo que lo adopta. Como podemos ver va más allá del cambio por el cambio.

Como ejemplo de actuaciones innovadoras en la gestión de la universidad tenemos los contratos-programa. Algunas Universidades y Comunidades Autónomas han firmado contratos-programa, como fórmula novedosa de establecer las bases de financiación. De esta manera se pretende abordar la "elaboración de *contratos pedagógicos* entre los Gobiernos autónomos y central con cada una de las Universidades, que incorporen, junto a su compromiso docente e investigador, compromisos de innovación pedagógica, seguimiento de los titulados, lucha contra el fracaso escolar, atención a las demandas de formación de adultos, formación no reglada, etc." [Embidi y Michavila, 2001]. Este sistema de contratos pedagógicos también se podría aplicar entre la propia Universidad y las distintas unidades de la misma (Centros y Departamentos). Dando una vuelta más de tuerca podemos establecer contratos pedagógicos con nuestros alumnos, de forma que conjuntamente el estudiante y el profesor elaboran y firman un contrato pedagógico personalizado que establece las reglas del juego.

En un contexto organizacional como la universidad donde la colegialidad es una característica fundamental de la institución, la innovación y mejora no dependen sólo de los niveles más altos, aunque en estos recaiga una mayor responsabilidad en cuanto a su impulso y dirección. Ello implica que para que una universidad se vea inmersa en un proceso de innovación, la institución debe ser capaz de implicar a los distintos miembros de la comunidad universitaria. Por tanto “es necesario impulsar aún más en la universidad la cultura del cambio, pues los académicos somos aún reacios y refractarios al mismo, y traducir los resultados de los procesos de evaluación en medidas concretas que sirvan para mejorar la calidad de la enseñanza, de la investigación y de otros servicios que presta la universidad” [Michavila y otros, 2001]. Esto nos lleva a la existencia de un sistema de *incentivos* basado en los resultados de los programas de evaluación. La incentivación supone el reconocimiento de la actuación a todos los niveles, incluyendo en primer término el de carácter económico. En la implantación y evaluación de los incentivos hay que tener en cuenta el impacto de cada incentivo, esto es, el poder motivador en la universidad o unidad correspondiente. Así, el poder motivador para el profesor puede no ser coincidente con el del PAS, incluso dentro del profesorado hay que tener en cuenta las distintas categorías, ya que por ejemplo, para un titular las expectativas de promoción pueden ser más importantes que un incentivo económico.

También es preciso favorecer los enfoques multidisciplinares y el carácter transversal en el trabajo universitario. En la mayor parte de los casos es evidente que se parte de una excesiva compartimentación de las disciplinas que da lugar a una fragmentación en los saberes que aprenden nuestros universitarios. La tendencia debería ser favorecer el carácter interdisciplinar de todo estudio universitario [Michavila y otros, 2002b]. Dentro de las críticas que se nos hace a los universitarios está el que habitualmente un profesor se identifica más con su área de conocimiento que con la universidad a la que pertenece, y se siente más afín a cualquier colega de un departamento de su especialidad en otra parte del mundo que con los de otros pasillos de su centro; de los del resto del campus con frecuencia ni conoce la existencia, salvo por las fricciones y disputas por obtención de recursos.

2.3. RECURSOS DOCENTES

Se han estudiado distintas metodologías docentes (¿cómo?), pero ahora nos queda una pregunta por hacer, ¿con qué?, es decir de que herramientas didácticas disponemos para llevar a cabo la tarea docente. Día a día los medios y recursos aumentan en calidad, se ha pasado en muy pocos años de la pizarra y la tiza, al vídeo interactivo y las nuevas tecnologías (quiénes mejor que nosotros los informáticos para saberlo). Pero la Didáctica tiene un reto: acomodar el material didáctico a estas nuevas tecnologías. En síntesis podemos señalar que los medios cumplen unas funciones que facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje :

- como apoyo para la presentación del contenido,
- como guía facilitadora y organizadora de las acciones instructivas,
- y como mediadores del encuentro del alumno con la realidad.

2.3.1. Resolución de Problemas y Prácticas de Laboratorio

Se trata de la vertiente práctica de la materia, desde la resolución de problemas de “lápiz y papel” hasta la elaboración de proyectos con el ordenador. El carácter enciclopédico de los currículos, la falta de instalaciones y material adecuado o el excesivo número de alumnos por clase, han impedido, en opinión de muchos profesores, un cambio curricular. Los problemas deben ser una ocasión privilegiada de construir y profundizar los conocimientos. Se debe evitar la orientación habitual dada a la resolución de problemas, que la limita al operativismo mecánico (convirtiéndolos en *recetas de cocina*) con una falta de reflexión cualitativa previa, y al tratamiento superficial sin detenerse en la clarificación de los conceptos. En [Krulik y Rudnick, 1980] se define un problema como “una situación, cuantitativa o no, que pide una solución para la cual los individuos implicados no conocen medios o caminos evidentes para obtenerla”. Habitualmente, los problemas son explicados como algo que se sabe hacer, como algo cuya solución se conoce y que no genera dudas ni exige tentativas: el profesor conoce la situación - para él no es un problema - y la explica linealmente, con toda claridad; consecuentemente, los alumnos pueden aprender dicha solución y repetirla ante situaciones idénticas, pero no aprenden a abordar un verdadero problema y cualquier pequeño cambio les supone dificultades insuperables. En [Polya, 1995] se dice que “cuando el maestro resuelve un problema ante la clase, debe *dramatizar* un poco sus ideas y hacerse las mismas preguntas que emplea para ayudar a sus alumnos”, y añade “el alumno debe comprender el problema. Pero no sólo debe comprenderlo, sino también debe desear resolverlo”. En general, para resolver un problema los pasos a seguir son:

- a) Comprensión del problema
- b) Planteamiento cualitativo y formulación de hipótesis
- c) Estrategias de resolución y resolución propiamente dicha
- d) Análisis de resultados

Por otro lado, los laboratorios juegan un papel central en los estudios de Informática al tratarse de materias con alto contenido tecnológico. En muchas ocasiones, la indudable capacidad motivadora que los trabajos prácticos tienen a priori para alumnos y profesores, se convierte en decepción después de realizar algunos. Se trata de concebir una estrategia para la traducción de las prácticas habituales, de forma que se conviertan en una tarea investigativa para los alumnos. Teniendo siempre en cuenta la existencia de recursos limitados se podrían extraer como aspectos fundamentales a cubrir los siguientes:

- Proporcionar experiencia y madurez en la aplicación al diseño, prueba de software y hardware práctico, de los principios desarrollados en teoría facilitando su comprensión y desarrollando con ello un saber hacer en computación.
- Proporcionar introducción a los métodos experimentales y presentar correctamente los descubrimientos mediante la presentación de informes.
- Integrar la actividad práctica con las lecciones teóricas definiendo proyectos de laboratorio con una secuenciación adecuada (introducción, resolución de problemas y diseño creativo), una planificación cuidadosa y una buena sincronización con el desarrollo de la teoría.

Por tanto, de manera gradual, se trabajará a tres escalas en la realización del proyecto de laboratorio:

1. *Introducción*. En primer lugar se estudia y comprende un sistema o programa ya diseñado familiarizando al alumno con herramientas básicas y consolidando conceptos, y a continuación se observa el comportamiento derivado de modificaciones o ampliaciones del sistema
2. *Resolución de Problemas*. Se amplía la experiencia inicial y desarrolla la autoconfianza en la habilidad de resolver problemas, mediante la resolución de tareas de complejidad creciente y la propuesta de soluciones en entornos diversos.
3. *Diseño Creativo*. Refuerza la habilidad de resolución de problemas en contextos más complejos mediante la propuesta y evaluación crítica de soluciones, la toma de decisiones y el trabajo en equipo.

Así, estas actividades tienen como objetivos básicos:

- Presentar y practicar los métodos conceptuales propios de las materias, tanto teóricos como empíricos.
- Completar el aprendizaje de los aspectos fundamentales.
- Aportar nuevos conocimientos, complementarios a las lecciones.

Además permite contrastar la solidez de los conocimientos teóricos y si estos han sido comprendidos o únicamente memorizados. También permite separar los niveles de la materia, centrándose estas actividades en los aspectos de instrumentación y uso. Supone además una vía útil para fomentar la participación, integración y el pensamiento crítico. Las actividades de resolución de problemas podrán ser de dos tipos:

- Trabajo sobre propuestas de ejercicios en *pequeño grupo* y discusión en *gran grupo* pasado un tiempo razonable.
- Realización de ejercicios *individuales* y discusión colectiva posterior.

Un aspecto muy importante es la estructuración de los ejercicios y trabajos de forma que su complejidad sea creciente permitiendo dirigir el proceso de aprendizaje a través de las reflexiones realizadas o de las capacidades adquiridas en la realización de los problemas. Se debe plantear el tratamiento de situaciones problemáticas abiertas, ya que éstas inducen a la presentación y discusión de diversas alternativas y por ello refuerza la crítica constructiva.

2.3.2. Tutorías y Orientación

Un déficit importante de nuestras universidades es el escaso contacto entre profesores y alumnos, limitándose en la mayoría de los casos al tiempo que pasan juntos en el aula, unos explicando sus programas y los otros intentando tomar apuntes. Las relaciones entre profesores y alumnos es una asignatura pendiente de nuestra universidad. El aprendizaje en la universidad requiere, además de la acción docente del profesor, una intervención orientadora que guíe el aprendizaje de los estudiantes. Docencia y orientación del aprendizaje parecen ser dos requisitos esenciales del buen profesor. Hay que distinguir entre las funciones académicas que se ciñen a preparar al estudiante para conseguir la superación de los cursos y de las materias y que pone énfasis en el proceso de aprendizaje, y las funciones de asesoramiento personal que orientan al estudiante en todas aquellas cuestiones que conciernen a su relación con la Universidad.

Una parte del tiempo que el profesor dedica a su labor en la universidad deberá asignarse a tareas de asesoramiento a los estudiantes. Este tipo de asesoramiento y apoyo al estudiante ha de tener un alcance universal, con una consideración de servicio esencial de las universidades. Un aspecto interesante sería el seguimiento de los titulados y el apoyo a lo largo de los años de actividad profesional a aquellos que fueron sus estudiantes.

La incorporación de la obligación de las tutorías docentes entre las tareas de los profesores fue un avance, al permitir conocer con antelación la disponibilidad de los profesores y permitir a los estudiantes saber dónde y cuando acudir para complementar su formación, resolver dudas o solicitar material. Si bien en teoría las tutorías tienen un papel orientativo y de autoevaluación fundamental, la realidad está mucho más distante. Convertidas en un recurso de última hora para el estudiante, éste pierde la oportunidad de aprovechar en toda su magnitud un complemento docente de gran riqueza. El único contexto en que hemos constatado su aprovechamiento es la realización de proyectos, tanto obligatorios como complementarios, donde la dirección y coordinación del profesor resultan imprescindibles. Por tanto es nuestra obligación fomentar y potenciar el uso de las tutorías como recurso adecuado para paliar, en parte, el gran problema de la Universidad, la masificación. En la presentación inicial el profesor deberá hacer hincapié en la ubicación física (despacho) y en el horario de atención al alumnado, fomentando su utilización a lo largo de todo el curso.

2.3.3.Evaluación

La evaluación es parte integrante del planteamiento docente. Se entiende por *Evaluación* aquel proceso complejo que comprende la obtención, por medio de los más variados procedimientos, de información útil acerca de cualquier tema, que permitirá emitir juicios, y en consecuencia, tomar decisiones al respecto. Al hablar de evaluación debemos plantearnos cuatro cuestiones: ¿quién evalúa?, ¿qué evaluar?, ¿cómo evaluar? y ¿para qué evaluar? Según la respuesta a estas preguntas tendremos distintos tipos de evaluación. La diversidad en la evaluación enriquece el proceso de enseñanza-aprendizaje, por lo que no debemos limitarnos a la evaluación clásica de ¿quién?-profesor, ¿qué?-conocimientos, ¿cómo?-examen y ¿para qué?-calificaciones.

Se trata de concebir y utilizar la evaluación como un instrumento y recurso de aprendizaje que permita suministrar *retroalimentación* adecuada a los alumnos, y al propio profesor, contribuyendo a la mejora de la enseñanza. Así, la evaluación debe tener las siguientes características:

- Ser percibida por los alumnos como una ayuda real, generadora de expectativas positivas.
- Extenderse a todos los aspectos del aprendizaje: conceptuales, procedimentales y actitudinales.
- Ser una evaluación a lo largo de todo el proceso, no valoraciones terminales.
- Incluir a lo largo del curso actividades de autoevaluación.

Dada la trascendencia que tiene para el estudiante la calificación, como determinante de su acceso a un título profesional, éste termina por sustituir los objetivos fijados en el proceso educativo por los conocimientos y conductas que le permitan superar las asignaturas. Así la definición de criterios de evaluación conlleva un modelo de

comportamiento caracterizado por el desarrollo de habilidades y el aprendizaje condicionado de los conceptos estrictamente necesarios para satisfacer dichos criterios. Por tanto, para resolver este problema y conseguir una docencia óptima debe buscarse la coherencia de los criterios de evaluación con los elementos restantes de la planificación docente (objetivos, contenidos y actividades). La nueva definición de crédito, incorporando en su cálculo los trabajos del estudiante y otras actividades realizadas fuera del aula, deberá tenerse en cuenta en la evaluación del aprendizaje.

Para finalizar este apartado, una última reflexión. Como he dicho, los alumnos aprenden aquello en lo que saben van a ser evaluados (¿entra en el examen?), convirtiéndose la evaluación en los criterios de aprendizaje. Por tanto, si se cambian los métodos docentes utilizados sin modificar los métodos de evaluación, el esfuerzo está condenado al fracaso o tiene mucho menor impacto.

2.3.4. Nuevas Tecnologías

Por Nuevas Tecnologías hay que entender el conjunto nuevo de herramientas, soportes y canales para el tratamiento y acceso a la información. Su característica más visible es su carácter radicalmente innovador y su influencia más notable se establece en el cambio tecnológico y cultural, en el sentido de que están dando lugar a nuevos procesos culturales. Todas ellas son nuevas herramientas y nuevos modos de expresión, que suponen nuevas formas de acceso y nuevos modelos de participación y recreación cultural y, por lo mismo, las Nuevas Tecnologías establecen un nuevo concepto de alfabetización. Las características comunes a todas ellas son: inmaterialidad, interactividad, instantaneidad e innovación.

Podemos considerar que hay un progresivo aumento del uso de las nuevas tecnologías en la docencia, pero este no ha sido suficiente. Pese al gran auge de las nuevas tecnologías en el contexto económico y social, no se ha suscitado un despliegue parejo en la labor docente. Por otra parte, su incuestionable incorporación al espacio educativo no debe servir para conservar los viejos modos de enseñar sino para la adecuación de los mismos a los nuevos espacios de vida. El uso de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones en sí mismo no aporta valor didáctico al proceso de enseñanza/aprendizaje, sólo son una herramienta, aunque, desde luego, muy potente, al servicio de una idea educativa. Hay pedagogos que creen que si no se controlan adecuadamente pueden perjudicar la formación integral del individuo, en lugar de ayudar a su formación. Pero es innegable que su aplicación a la educación va a revolucionar el panorama. Lo importante será conocer las ventajas e inconvenientes que supone y qué adaptación es necesaria en la mentalidad de profesores y alumnos para su correcto aprovechamiento.

Un aspecto que ha cambiado tajantemente es la enorme cantidad de información de que se dispone en la actualidad a través de la red. Esto puede resultar contraproducente ya que la excesiva información se convierte en ruido. Se trata, como ya he dicho, en no acumular datos, sino convertir esa información en conocimiento.

Una de las ventajas que nos ofrece la utilización de las nuevas tecnologías en el proceso de enseñanza es la interactividad y la intercomunicación, que permitirá una enseñanza más

flexible con un claro aumento de la audiencia y donde la presencialidad cobrará un significado distinto al actual. Nos encontramos así con la nueva modalidad que algunos autores llaman *Teledidáctica* que “abriría el camino a un sistema universitario continuo y distribuido, llamado a sustituir el sistema actual, que está sustancialmente articulado en pocas sedes mastodónticas, localizadas preferentemente en las grandes ciudades. ... No es aventurado imaginar, por lo demás, que una informatización de la universidad podría contribuir a aligerar sus instalaciones estructurales haciéndolas menos voluminosas y más flexibles que hoy” [Maldonado, 1998]. Accedemos con ello al *aula sin muros*, porque jamás se acaba de aprender y la educación superior debe comprometerse con la *sociedad del aprendizaje* [Cebrián, 2000]. La Universidad de Alicante dispone de una herramienta denominada *Campus Virtual* que permite, tanto a los alumnos como los profesores realizar tanto las matrículas, como otras gestiones administrativas y académicas utilizando un espacio de su página web. Pero como ya se ha comentado, la evaluación es un aspecto clave en la educación, y se convierte en crítico en la educación a distancia. Una evaluación remota requiere tener en cuenta factores de seguridad y de autenticación que dificultan su implantación [Aznar, 2001].

Otra ventaja que nos aporta es el permitirnos liberar tiempo, lo que favorecerá entre otras cosas realizar un aprendizaje proactivo. Esta disponibilidad de tiempo no debemos utilizarla para dar más conocimientos a nuestros alumnos sino para darlos de otra forma.

Entre los diferentes recursos potencialmente utilizables en la docencia universitaria tendríamos los materiales impresos, las transparencias con retroproyector y las diapositivas como recursos con un nivel generalizado de uso; el vídeo, los ordenadores, los programas informáticos y los materiales multimedia como recursos poco introducidos; y la audioconferencia, videoconferencia, conferencias por ordenador y videotexto como nuevos recursos⁹.

Otro recurso didáctico que nos ofrecen las nuevas tecnologías y que parece estar más extendido es la posibilidad de crear un sitio web de la asignatura. Este sitio se convierte en una plataforma ideal de intercambio de material e información entre el profesor y sus estudiantes, permitiendo que el contacto se alargue más allá del tiempo compartido en el aula.

2.3.5. Representación Gráfica del Conocimiento

Voy a intentar visualizar, es decir, hacer visible mediante cierta representación, la organización temporal y la estructura de nuestras asignaturas. La visualización es importante debido a su fuerza expresiva y nos sirve para alcanzar cierta comprensión acerca del contenido. Recurriremos a la representación gráfica para organizar de forma espacial los conceptos de un determinado dominio o ámbito del conocimiento científico. En Inteligencia Artificial se desarrollaron las *redes semánticas* [Quillian, 1968] como representación formal del conocimiento inspiradas en la memoria humana y planteadas como un modelo asociativo basado en redes, de forma que el significado de un concepto depende del modo en que se encuentre conectado con otros conceptos. Una red semántica

⁹ Gregorio Rodríguez Gómez, “El Reto de Enseñar Hoy en la Universidad”, en *Calidad de las Universidades y Orientación Universitaria*, (coord.) Víctor Álvarez y Ángel Lozano, página 57.

consiste en entidades y relaciones entre estas entidades, y las representaremos como un grafo dirigido donde los nodos simbolizan conceptos y los arcos las relaciones de diverso tipo existentes entre los conceptos que conectan.

También las disciplinas cognitivas, en el ámbito pedagógico, emplean este tipo de representaciones para describir la organización del conocimiento, dándoles el nombre de *mapas conceptuales*. Los mapas conceptuales hacen su aparición en el ámbito de la didáctica de las disciplinas científicas de la mano de Novak [Novak y Gowin, 1984]. Propone el uso de una herramienta que llama “concept map” y que define como “un dispositivo esquemático que representa un conjunto de significados conceptuales incluidos en una estructura de proposiciones”. Novak considera estos mapas como auténticas *herramientas metacognitivas*, que permiten visualizar la articulación de los conceptos y expresar los elementos conocidos acerca de un tópico para, a partir de ahí, desarrollar estrategias de profundización.

Al igual que en las redes semánticas, en los mapas conceptuales los *conceptos* son representados por nodos (gráficamente en forma de círculos o cajas) y las *relaciones* entre ellos por arcos etiquetados que conectan ambos conceptos. Las etiquetas especifican dichas relaciones y, habitualmente, vienen dadas por verbos encargados de su descripción y frases simplificadas. Los conceptos son representados jerárquicamente, desde los conceptos más generales en la parte alta del mapa conceptual a los más específicos en la parte baja.

Cuando las palabras seleccionadas para representar los conceptos y las relaciones se escogen cuidadosamente, los mapas conceptuales pueden ser herramientas muy útiles para observar matices de significado, ayudado a los estudiantes a organizar sus pensamientos y resumir áreas de estudio. En este sentido, los mapas conceptuales pueden ser muy útiles en la planificación de las asignaturas ya que nos permiten presentar y representar de una forma concisa los conceptos clave y los principios que queremos enseñar. Para presentar la asignatura completa construiré un *macromapa* global con las ideas principales, para posteriormente construir *micromapas* específicos. Con estos mapas conceptuales se cubre un doble objetivo:

- Por una parte, el profesor al construirlo entiende mejor las interrelaciones entre los distintos conceptos y le permite visualizar e identificar los aspectos clave, de forma que puede organizar mejor la asignatura. Durante el proceso de construcción del mapa conceptual se estimula la reflexión y nos ayudará a conectar el contenido con la práctica pedagógica.
- Por otra parte, el alumno se verá beneficiado ya que el disponer de una representación gráfica de la materia le ayudará a comprender mejor la asignatura, identificando fácilmente los conceptos clave y las interrelaciones entre los mismos. Al mismo tiempo dispondrá de un mapa que le permitirá situarse en cualquier momento a lo largo del curso.

Para elaborar los mapas conceptuales que aparecen en las programaciones de las asignaturas *Lógica Computacional* (capítulo 4) y *Razonamiento* (capítulo 5) he utilizado el artículo “The Theory Underlying Concept Maps and How To Construct Them” de Joseph D. Novak (Cornell University) [Novak, 2002] y la aplicación *Concept Map Software. A knowledge construction toolkit* [IHMC, 2002] del *Institute for Human and Machine Cognition* (<http://www.coginst.uwf.edu>) de la Universidad de West Florida (USA) con la participación del Doctor J. D. Novak. El programa permite a los usuarios construir, navegar, compartir y criticar modelos de conocimiento representados en Mapas

Conceptuales. La herramienta es independiente de la plataforma y se puede utilizar en red, permitiendo a los usuarios construir y colaborar durante la construcción de los mapas conceptuales con colegas conectados en red, así como compartir y navegar a través de modelos de otros autores distribuidos en servidores en Internet. Se pueden enlazar los conceptos con recursos multimedia (vídeo, imágenes, sonido, mapas, sede web etc.) y permite la publicación de los mapas en diversos servidores y su exportación a la Web. Está escrito en Java y puede ser ejecutado bajo Windows, Macintosh, UNIX, etc. Por medio de una arquitectura flexible, la herramienta permite al usuario instalar únicamente las funcionalidades requeridas en ese momento, añadiendo más módulos cuando sean necesarios o conforme se vayan desarrollando nuevos con funcionalidades adicionales.

2.3.6. Batiburrillo

Para finalizar este apartado dedicado a los recursos docentes, incluyo un último punto en el que poder dar cabida a otras técnicas o propuestas distintas que puede ayudarnos en la docencia.

Trabajos Complementarios

La propuesta de trabajos complementarios debe orientarse hacia la extensión y complementación de los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos. En el caso práctico se pretende que el estudiante aporte sus propias ideas sobre la resolución del trabajo. En ocasiones estos trabajos pueden sustituir a las prácticas de laboratorio (trabajos dirigidos) necesitando, para su desarrollo integral, una cantidad razonable de recurso. Por lo tanto no son aconsejables en situaciones de escasez o masificación y en su caso deberán orientarse hacia cursos superiores y asignaturas optativas (en este caso “Razonamiento”). Este tipo de trabajos fomenta el espíritu de trabajo en equipo y la coordinación en su desarrollo. Debe procurarse adaptar el grado de dificultad al interés del alumno. En cuanto a los trabajos teóricos éstos son igualmente necesarios. La lectura y comentario de artículos y bibliografía relacionada introducen al alumno en un área concreta y motivan su interés por la asignatura al tiempo que le ayudan a descubrir y comprender el contexto científico en el que ésta se desarrolla. En los cursos superiores, con la propuesta adicional de recogida bibliográfica sobre un tema o problema concreto se puede despertar, como demuestra la experiencia, el interés por la investigación o el conocimiento más profundo de tecnologías punta.

Seminarios, Debates y Otras Actividades Complementarias

En términos generales los seminarios, las visitas a empresas y las conferencias constituyen el complemento docente ideal ya que incrementan el grado de motivación y participación del estudiante. Todas estas actividades deben planificarse de cara al comienzo de los cursos escolares y dependen de factores no siempre consolidados como partidas presupuestarias o recursos humanos. También se realizarán discusiones y debates sobre temas de interés, relacionados con las materias tratadas en clase. Estas actividades estarán abiertas a cualquier estudiante de la Universidad.

La realización de *seminarios monográficos* resulta de gran interés para el desarrollo de temas afines al programa no incluidos en el mismo. Es interesante también la realización de *seminarios interdisciplinarios*, es decir, preparados y programados conjuntamente por profesores de distintas asignaturas, que complementarán el contenido de las asignaturas implicadas y darán una visión desde diferentes perspectivas de algunos temas a caballo entre distintas materias. Muchas veces, y sobre todo cuando se dispone de recursos y no hay masificación, estas actividades permiten establecer nexos de unión entre asignaturas o grupos de ellas sobre todo en contextos en los que la exposición de la base formal y el estudio tecnológico se encuentran distantes en el tiempo o es aconsejable una reflexión sobre los lazos comunes entre las distintas áreas de la Informática. Utilizados en los últimos cursos aprovechan además para motivar la investigación o la aplicación tecnológica. El contenido impartido sirve adicionalmente de base para el desarrollo de trabajos complementarios.

Escritura y Lectura

Como ya he comentado buscamos un aprendizaje activo, en el cual el estudiante transforme los datos y la información que se le proporcionan en conocimiento, de forma que posteriormente sea capaz de generar nuevo conocimiento. Indudablemente la lectura es una manera de adquirir conocimiento y ser más culto, más sabio y más sensible. Siendo idílicos se puede afirmar que leer es una forma de rebeldía y libertad. Podemos dar un paso más e incitar a los estudiantes a que escriban, ya que exige al alumno que primero haga suya la idea a exponer, a que no deje agujeros en sus líneas de razonamiento y a que busque ejemplos adecuados. En palabras de Joe Miró “es importante notar que la escritura no es la forma en la que se *evalúan* los conocimientos del curso sino la forma cómo los alumnos *aprenden* estos conocimientos. No se trata de enseñar mediante el ‘método tradicional’ y después pedir un informe, sino que en clase se aprende a escribir sobre un tema y *así* se aprenden los conocimientos del tema” [Miró, 2000]. Planteados de esta manera, la lectura y la escritura se pueden utilizar como recursos didácticos. No valen las excusas de no tener tiempo.

Los Juegos

Es cosa notoria que el juego potencia el aprendizaje y suscita la curiosidad. Los juegos pueden convertirse en una herramienta docente. Es habitual encontrar secciones de juegos matemáticos en revistas científicas de divulgación. Penrose ha escrito que su pensamiento matemático se organiza en forma visual, diagramático y no verbal, muy similar a los juegos. En el caso que aquí nos ocupa, la enseñanza de la Lógica no tiene por qué ser aburrida. Todos recordamos las novelas de Sherlock Holmes o Hercules Poirot, y cómo sus mentes lógicas y deductivas eran capaces de realizar hábiles razonamientos para descubrir a los culpables a partir de pequeños indicios. Los juegos necesitan lógica para su resolución [Llorens y otros, 2001]. Las paradojas parecen engaños mágicos que “desafían la capacidad de razonamiento y la intuición del lector” pero “mucho podemos aprender de las paradojas; al igual que los buenos trucos de ilusionismo, nos causan tanto asombro que inmediatamente queremos saber cómo se han hecho” [Gardner, 1989]. Los esfuerzos por resolver las paradojas lógicas clásicas han sido motor del avance de la lógica. Los trucos lógicos, los acertijos sobre mentirosos y veraces, los rompecabezas (“puzzles”) ayudan a ejercitar la destreza mental [Smullyan, 1995].

CAPÍTULO 3

¿QUÉ ...?

EL CONTEXTO CURRICULAR

Vivimos ahogados en información, pero sedientos de conocimiento.

En este tercer capítulo afrontaré el *contexto curricular*, haciendo referencia a los conocimientos, habilidades y actitudes que se queremos enseñar a nuestros alumnos. Así reflexionaré sobre *la enseñanza de la Informática*, estudiando diversas propuestas curriculares y distintos enfoques de esta ciencia tan joven y, por tanto, aún en continua evolución. En concreto me centraré en aquellos temas relacionados con la *Lógica* y el *Razonamiento*, que conforman el perfil de la plaza.

La enseñanza de la informática, como la de cualquier otra disciplina, constituye una actividad compleja en la que intervienen aspectos y agentes de muy diversa índole. La naturaleza de la materia y la intensa evolución de la disciplina, su juventud, su componente abstracta y su componente tecnológica hacen espinoso el cometido de definir la misma. Las tecnologías de la información y las comunicaciones están produciendo importantes transformaciones en la sociedad y las actividades de formación deben jugar un papel relevante en dicho proceso de transformación, transmitiendo conocimiento y experiencia especializados a todos los niveles y generando una cultura objetiva de la informática en nuestra sociedad. La enseñanza de la informática ha evolucionado en consonancia con el dinamismo propio de la disciplina.

La informática es definitivamente una nueva e importante ciencia, pero sus relaciones con otros campos (tales como matemáticas, física, ingeniería eléctrica e incluso las ciencias de la vida) son también muy significativas.

En el año 2000 se creó la *Asociación de Enseñantes Universitarios de la Informática* (AENUI) (<http://130.206.130.211/~admin/aenui.html>) cuyo objetivo es el fomento y desarrollo de todo aquello que favorezca la preparación y capacidad de los docentes de informática en la universidad. Nació a partir de los JENUI (Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática), que se venían celebrando desde 1994, con el objetivo de promover el contacto, el intercambio y la discusión de conocimientos y experiencias entre profesores universitarios de informática y grupos de investigación, debatir sobre el contenido de los programas y los métodos pedagógicos empleados, y presentar temas y enfoques innovadores que permitan mejorar la docencia de la informática en las universidades.

3.1. PROPUESTAS CURRICULARES PARA INFORMÁTICA

Para atender a la necesidad de normalizar la enseñanza de la informática mediante la especificación de un currículo apropiado, diversas instituciones han elaborado sucesivas propuestas de las que cabe destacar las propuestas iniciales de los organismos profesionales “Institute of Electrical and Electronics Engineers” (IEEE) (<http://www.ieee.org>) [IEEE, 1983] y “Association for Computing Machinery” (ACM) (<http://www.acm.org>) [ACM, 1968], [ACM, 1979]. En ellas se establecen materias fundamentales que parten, desde las matemáticas como eje principal, hacia otros conocimientos más especializados, característicos de las nuevas tecnologías. Acaban cobrando especial importancia los informes elaborados conjuntamente por ambas asociaciones cuyas sucesivas revisiones perfilan el currículo del informático y establecen

la cuestión deontológico [ACM-IEEE, 1991], [ACM-IEEE, 2001]. Este último documento es el que analizaremos con más detalle en el próximo apartado. Al mismo tiempo, la “International Federation for Information Processing” (IFIP) (<http://www.ifip.or.at>) conjuntamente con la UNESCO han propuesto un curriculum en informática que organiza el conocimiento en módulos y propone unos objetivos y unos contenidos adecuados para conseguirlos, reafirmando la constante evolución y los rápidos cambios que las tecnologías de la información están experimentando y reúne, bajo el término de “informatics” a todo un conjunto de dominios relacionados con la nueva disciplina [IFIP-UNESCO, 1984], [IFIP-UNESCO, 2000]. Una propuesta de perfiles profesionales TIC (Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) la podemos encontrar en el “Curriculum Guidelines” del consorcio *Career Space* (<http://www.career-space.com>). Un análisis exhaustivo y detallado de los currículos de informática, y en particular del papel de la lógica en los mismos, se puede encontrar en [Llorens, 1996].

Estas propuestas provocan una progresiva integración de las distintas concepciones existentes de la informática, caracterizada por la necesidad de conocer unos contenidos mínimos comunes. La informática se presenta como una disciplina con componente de ciencia y de ingeniería basada en tres paradigmas interrelacionados: teoría, abstracción y diseño. Las materias se distribuyen en un conjunto de áreas fundamentales con unos conocimientos comunes y unos requisitos matemáticos y científicos necesarios. Asimismo se destaca como aspectos relevantes para la enseñanza de la informática, la importancia de las experiencias educativas y el trabajo en el laboratorio. Se incorporan aspectos relativos a las habilidades y actitudes en las que se debe formar un informático teniendo en cuenta el contexto social y profesional en el que se encuentra.

3.1.1. Computing Curricula 2001

El ACM Education Board y la IEEE Computer Society han publicado con fecha 15 de diciembre de 2001, una nueva propuesta basada en el informe Computing Curricula 1991 y que incorpora los desarrollos de la última década. El informe está dividido en cuatro volúmenes: “Computer Science”, “Computer Engineering”, “Software Engineering” e “Information Systems”. Cuando ya estén finalizados estos documentos, representantes de las distintas disciplinas elaborarán un informe “Overview” que dará una visión general de la educación en informática. Aquí se analizará el primero, por ser el que refleja las materias relacionadas con el perfil de la plaza y ser el único aprobado (los demás están aún en desarrollo). El primer borrador de la nueva propuesta aparece en marzo de 2000, el cual constituye la primera aproximación real al problema. El informe es actualizado en febrero de 2001 y, posteriormente, la última versión aparece en el mes de diciembre de ese mismo año.

Son destacables los cambios en la disciplina producidos como resultado del auge de las redes de comunicaciones e Internet: sistemas empujados y distribuidos, interoperatividad, programación orientada a objetos, desarrollo de interfaces de programación de aplicaciones sofisticadas, seguridad y criptografía, etc. Los cambios en el contexto cultural y sociológico que afectan directamente a los métodos de enseñanza de la informática se deben a la enorme expansión de ésta en todos los ámbitos, la creciente influencia económica de las tecnologías de la información y las comunicaciones y a su consolidación como disciplina académica.

Es destacable la importancia que se le presta en este curriculum a la inclusión de conocimientos marcadamente orientados a la actividad profesional. Algunos mecanismos sugeridos para este fin son:

- Cursos de proyectos. Se abordan problemas reales y se realizan propuestas de solución donde se tienen en cuenta no sólo los aspectos técnicos, sino también aquellos relacionados con costes, fiabilidad e idoneidad de la solución.
- Cursos sobre ética profesional y legislación. Se incluye historia de la computación, impacto de los computadores sobre la sociedad, la profesión informática y las responsabilidades legales y éticas.
- Cursos de prácticas en empresas. Estancias a tiempo parcial o total de los estudiantes en empresas bajo la tutela de un coordinador.
- Cursos de desarrollos software en equipo. Se incluyen actividades de proceso y gestión software, ingeniería de requerimientos, aspectos económicos, gestión de riesgo, certificación de calidad, etc.

El análisis de las propuestas anteriores y de la evolución acaecida en la disciplina informática ha conducido a la articulación del siguiente grupo de principios:

- La informática se ha convertido en una disciplina extremadamente amplia que se extiende más allá de los límites tradicionales.
- A pesar de su auge, la informática continúa siendo un campo de estudio integrado que toma sus bases de diversas disciplinas bien conocidas. Los estudiantes deben aprender a integrar teoría y práctica para reconocer la importancia de la abstracción y apreciar el valor de un buen diseño.
- La rápida evolución de la informática requiere una revisión continua de su currículo. Realizar una revisión cada diez años resulta insuficiente. Las asociaciones de profesionales deben establecer un currículo cambiante que permita la actualización de componentes individuales.
- El desarrollo de un currículo debe ser sensible a los cambios tecnológicos, al desarrollo de la pedagogía y a la importancia de la formación continua. Las instituciones deben preparar a sus estudiantes para que se adapten con rapidez a las constantes innovaciones tecnológicas.
- El currículo debe identificar un conjunto relativamente pequeño de conceptos y habilidades clave necesarios para todos los estudiantes de informática. La expansión de la disciplina a numerosos campos científicos hace atractivo incluir nuevos conceptos fundamentales en la titulación, lo cual entra en conflicto con la cantidad de las materias fundamentales. El cuerpo básico de conocimiento debe reducirse al máximo y consistir en aquellos temas sobre cuya esencialidad hay amplio consenso. Se definen un total de 28 materias comunes para todas las disciplinas de la informática, desaparecen algunas tradicionales como el conocimiento del lenguaje ensamblador y se incorporan otras nuevas como el reconocimiento de las responsabilidades éticas, legales y profesionales asociadas con el ejercicio de la profesión.
- El currículo debe suministrar líneas guía para asignaturas que vayan más allá de las consideradas clave.
- El desarrollo del currículo debe responder a las necesidades demandadas por el tejido industrial puesto que se trata de la principal salida laboral de los estudiantes

de informática. El currículo debe incluir las prácticas profesionales como un componente esencial. Considerando que la informática es una disciplina integrada, es necesario que los programas de estudio resalten los aspectos prácticos junto con los contenidos teóricos. Además, hoy en día, gran parte del conocimiento práctico asociado a la informática sólo se encuentra en las prácticas profesionales desarrolladas en empresas.

- El currículo debe esforzarse en ser útil. Para conseguirlo se debe: obtener el apoyo de organismos internacionales competentes; ser lo suficientemente general para cumplir con las necesidades de la mayoría de los planes de estudio con diversidad de enfoques y objetivos y, por último, ser lo bastante flexible como para incluir avances futuros en la informática sin penalizaciones apreciables en el tiempo.

La nueva propuesta curricular organiza la disciplina en 14 áreas temáticas (Tabla 1) que, a su vez, se estructuran en materias. Las materias de naturaleza fundamental deberían estar incluidas en el diseño del currículo con carácter de obligatoriedad. Las materias que se proponen como complementarias deben servir para completar el diseño curricular y adecuarlo a las especificidades de contexto. El detalle de las áreas temáticas relacionadas con el perfil de la plaza se recoge en las siguientes tablas (Tabla 2 y Tabla 3), con indicación del tiempo mínimo recomendado para cada materia de las consideradas de tipo fundamental (FUN). Finalmente (Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7) se transcribe la información de las materias relacionadas con la lógica y el razonamiento. El informe realiza también algunas propuestas sobre posibles cursos avanzados. Entre los que nos interesan desde el punto de vista de este proyecto encontramos *Programación Lógica*, *Razonamiento Automático* y *Sistemas Basados en Conocimiento*.

Tabla 1: **Áreas Temáticas de Computer Science (Computing Curricula 2001)**

ID	Área	Horas
DS	<i>Estructuras Discretas</i>	43
PF	Fundamentos de la Programación	38
AL	Algoritmos y Complejidad	31
AR	Arquitectura y Organización	36
OS	Sistemas Operativos	18
NC	Computación en Red	15
PL	Lenguajes de Programación	21
HC	Interacción Hombre-Máquina	8
GV	Gráficos y Visualización por Ordenador	3
IS	<i>Sistemas Inteligentes</i>	10
IM	Gestión de la Información	10
SP	Aspectos Sociales y Profesionales	16
SE	Ingeniería del Software	31
CN	Ciencia Computacional	

Tabla 2: Área Temática Estructuras Discretas (DS)

ID	Materia	Horas	Tipo
DS1	Funciones, relaciones y conjuntos	6	FUN
DS2	<i>Lógica básica</i>	10	FUN
DS3	<i>Técnicas de prueba</i>	12	FUN
DS4	Sistemas de numeración	5	FUN
DS5	Grafos y árboles	4	FUN
DS6	Probabilidad discreta	6	FUN
		43	

Tabla 3: Área Temática Sistemas Inteligentes (IS)

ID	Materia	Horas	Tipo
IS1	Aspectos fundamentales en sistemas inteligentes	1	FUN
IS2	Búsqueda y satisfacción de restricciones	5	FUN
IS3	<i>Representación del conocimiento y razonamiento</i>	4	FUN
IS4	Búsqueda avanzada		OPT
IS5	<i>Repres. del conocimiento y razonamiento avanzados</i>		OPT
IS6	Agentes		OPT
IS7	Procesamiento del lenguaje natural		OPT
IS8	Aprendizaje y redes neuronales		OPT
IS9	Sistemas de planificación basados en IA		OPT
IS10	Robótica		OPT
		10	

Tabla 4: Lógica Básica

Materia DS2. Lógica Básica**Contenido**

Lógica Proposicional
 Conectivas Lógicas
 Tablas de Verdad
 Formas Normales (Conjuntiva y Disyuntiva)
 Validez
 Lógica de Predicados
 Cuantificación Universal y Existencial
 Modus Ponens y Modus Tollens
 Limitaciones de la Lógica de Predicados

Objetivos

Aplicar métodos formales de la lógica simbólica de proposiciones y predicados.
 Describir cómo se usan las herramientas formales de la lógica simbólica para modelar algoritmos y situaciones reales.
 Usar las pruebas de la lógica formal y el razonamiento lógico para resolver problemas, como los puzzles (acertijos).
 Describir la importancia y las limitaciones de la lógica de predicados.

Tabla 5: Técnicas de Prueba

Materia DS3. Técnicas de Prueba**Contenido**

Nociones de implicación, inverso, contrapositivo, negación y contradicción
 La estructura de las pruebas formales
 Pruebas directas
 Prueba por contraejemplo
 Prueba por contraposición
 Prueba por contradicción
 Inducción matemática
 Inducción fuerte
 Definiciones matemáticas recursivas
 Órdenes buenos

Objetivos

Introducción a las estructuras básicas y dar ejemplos de cada técnica de demostración descrita en esta unidad.
 Discutir qué tipo de prueba es mejor para cada problema dado.
 Relacionar las ideas de inducción matemática con la recursión y las estructuras definidas recursivamente.
 Identificar la diferencia entre inducción matemática y fuerte y dar ejemplos del uso apropiado de cada una.

Tabla 6: Representación del Conocimiento y Razonamiento

Materia IS3. Representación del Conocimiento y Razonamiento**Contenido**

Repaso de la lógica proposicional y de predicados
 Resolución y demostración de teoremas
 Inferencia no monótona
 Razonamiento probabilístico
 Teorema de Bayes

Objetivos

Explicar el funcionamiento de la técnica de resolución en la demostración de teoremas.
 Explicar la distinción entre inferencia monótona y no monótona.
 Discutir las ventajas y deficiencias del razonamiento probabilístico.
 Aplicar el teorema de Bayes para determinar probabilidades condicionales.

Tabla 7: Representación del Conocimiento y Razonamiento Avanzados

Materia IS5. Representación del Conocimiento y Razonamiento Avanzados**Contenido**

Representación estructurada (marcos y objetos, lógicas, sistemas de herencia)
 Razonamiento no monótono (lógicas no clásicas, razonamiento por defecto, revisión de creencias, lógicas de preferencia, integración de fuentes de conocimiento, agregación de creencias conflictivas)
 Razonamiento con acciones y cambios (cálculo de situaciones, cálculo de eventos, problemas de ramificación)
 Razonamiento temporal y espacial
 Incertidumbre (razonamiento probabilístico, redes bayesianas, conjuntos difusos y teoría posibilística, teoría de la decisión)
 Representación del conocimiento por diagnosis, representación cualitativa

Materia IS5. Representación del Conocimiento y Razonamiento Avanzados**Objetivos**

Comparar y contrastar los modelos más usados para representación estructurada del conocimiento, destacando sus potencias y debilidades.

Caracterizar los componentes del razonamiento no monótono y su utilidad como mecanismo de representación de sistemas de creencias.

Aplicar el cálculo de situaciones y eventos a los problemas de acción y cambio.

Articular la distinción entre razonamiento temporal y espacial, explicando cómo se interrelacionan.

Describir y contrastar las técnicas básicas para representar incertidumbre.

Describir y contrastar las técnicas básicas para diagnosis y representación cualitativa.

3.1.2. Ingeniería Informática en la Universidad Española

En un principio fueron ingenieros industriales, físicos y matemáticos los primeros titulados que ocuparon puestos de trabajo relacionados con los ordenadores y la informática. En marzo de 1969 se creó el Instituto de Informática, dependiente del Ministerio de Educación y Ciencia, con sede en Madrid, y se regularon las enseñanzas de la misma. En agosto de 1971 se publicó la Orden Ministerial sobre la revalidación de títulos del Instituto de Informática para profesiones. En Cataluña se creó la licenciatura en Informática en la Facultat de Ciències de la Universitat Autònoma de Barcelona con el mismo plan de estudios que el Instituto iniciándose los estudios el curso 1972-1973. En febrero de 1976 se publicó el Decreto sobre la estructuración de las enseñanzas dentro del actual sistema educativo, estableciéndose que las enseñanzas de informática se desarrollarían a través de la educación universitaria y de la formación profesional. En marzo del mismo año se crearon las Facultades de Informática de Barcelona, Madrid y San Sebastián. Posteriormente vendría el establecimiento de un título de grado medio de diplomado en informática. A consecuencia del desarrollo de la LRU de 1983, los títulos de informática pasaron de ser consideradas licenciaturas a ser ingenierías y de diplomaturas a ingenierías técnicas. Existen por tanto tres titulaciones: *Ingeniero Técnico en Informática de Gestión*, *Ingeniero Técnico en Informática de Sistemas* e *Ingeniero en Informática*.

En el Real Decreto 1459/1990 se establecen las directrices generales propias del título oficial de *Ingeniero en Informática* [Consejo de Universidades, 1990] titulación orientada hacia la formación y capacitación para el análisis, diseño y desarrollo de sistemas informáticos. Se contempla una estructura de primer y segundo ciclo, con una duración total entre 4 y 5 años, una carga lectiva total entre 300 y 450 créditos (un mínimo de 120 créditos por ciclo) y una troncalidad del 35% (156 créditos repartidos en 87 en primer ciclo y 69 en el segundo).

En la reunión anual de la *Conferencia de Decanos y Directores de Centros Universitarios de Informática de España* (CODDI) celebrada en el mes de mayo en la Facultat d'Informàtica de Barcelona y dando respuesta al reto europeo [Puigjaner y otros, 2002] se acuerda pedir un único título de Ingeniería Informática, en el sentido de "que el futuro de estos estudios en el ámbito europeo y en el contexto tecnológico actual pasa por diseñar un recorrido curricular cíclico con la estructura "BaMa" (Bachelor+Máster) en el que el primer ciclo de 4 años de duración conducirá a la obtención del título de Ingeniería Informática, con

competencias y atribuciones profesionales. Este título se podrá complementar por una parte con Másteres de especialización que recogerán las características de cada universidad, su entorno socio-económico y las necesidades tecnológicas de cada momento y, por otra parte, con cursos de doctorado encaminados a la realización de la tesis doctoral”.

Al no existir una referencia directa en las directrices generales propias a la materia de lógica, en las universidades españolas se observa, en términos generales, distintos niveles de profundidad de tratamiento de los contenidos relacionados con la lógica:

- *La lógica como parte de otras materias.* Los contenidos comunes se tratan en el seno de asignaturas de Matemática Discreta o Álgebra, y los específicos se abordan en cada asignatura concreta (Inteligencia Artificial, Ingeniería del Software, etc.). En el mejor de los casos se oferta adicionalmente una asignatura optativa sobre Lógica.
- *La lógica como materia propia.* Los contenidos comunes y, por lo general, algún aspecto específico (usualmente Programación Lógica) se tratan en una asignatura, obligatoria o troncal, independiente. En algunos casos se refuerza con asignaturas optativas de profundización en lógica.

En general, en los planes nacionales, aunque se reconoce un mínimo tratamiento de los contenidos comunes de Lógica en los primeros cursos, el refuerzo de la base formal y la articulación de los contenidos específicos dependen mucho de las directrices del plan. Un nivel de implantación medio-alto, va ligado normalmente a la intensificación de una de las ramas de la Informática en las que se precisa de fundamentos lógicos. En estos casos, en cuanto a contenidos, existe coincidencia con la comunidad internacional en el tratamiento de la Programación Lógica una vez suministradas las bases formales. Este tratamiento se refuerza en la parte práctica con el estudio de algún lenguaje específico, usualmente PROLOG.

3.1.3. Conclusiones

Del análisis de las recomendaciones internacionales, desde asociaciones a universidades, y desde el punto de vista que nos interesa, es decir el de la lógica, tanto es su aspecto de representación de conocimiento como de razonamiento, podemos extraer las siguientes conclusiones:

- *Evolución de la Lógica:* la importancia de la Lógica en los currículos de Informática está fuertemente condicionada en sus inicios por los vínculos históricos de la Informática con la Matemática en general y con la Matemática Discreta en particular, como sustrato teórico de la misma. Posteriormente la Lógica va tomando cuerpo propio en los currículos debido a sus aplicaciones en contextos específicos de la Informática tales como la Programación, la Ingeniería del Software, el Diseño de Sistemas de Bases de Datos y la Inteligencia Artificial. La necesidad de proporcionar una base formal en determinados aspectos propios de dichos contextos refuerza el carácter fundamental de la Lógica, con la consiguiente separación entre los contenidos de Lógica y el resto de contenidos de Matemática Discreta.
- *Contenidos Comunes y Específicos:* a medida que la Lógica se ha ido asentando en los currículos se han establecido dos bloques de contenidos: los contenidos comunes y

los específicos. Los contenidos comunes constituyen la base común necesaria para aplicar la Lógica en cualquier contexto de la Informática, y se refieren a aspectos teóricos básicos. Normalmente se abordan en el seno de cursos sobre Matemática Discreta o, en el mejor de los casos, en cursos adicionales. Los contenidos específicos, que suelen referirse a aspectos teóricos avanzados, definen la base específica para abordar un contexto de aplicación concreto y por tanto suelen introducirse en los cursos específicos dedicados a cada contexto.

3.2. INGENIERÍA INFORMÁTICA EN LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Como ya se ha dicho al hablar de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, en el curso 1992-93 comienza a impartirse el título de Ingeniero en Informática, de acuerdo con las citadas Directrices Generales Propias y siguiendo el plan de estudios acordados por el Consejo de Universidades el 21 de julio de 1992, ordenada su publicación el 18 de septiembre de 1992 por la Universidad de Alicante y publicados en los BOE de 12 de febrero de 1993 [BOE, 1993]. Estos planes se introducen de forma progresiva: en 1992-93 en primero y cuarto, en 1993-94 en segundo y quinto curso, y finalmente en 1994-95 en tercer curso. Este plan de estudios ha sido revisado y actualizado, aplicándose a partir del curso 2001/2002 y de forma gradual el nuevo plan de estudios [BOE, 2001]. Por tanto, en este curso 2002/2003, en los estudios de Ingeniería en Informática de la EPS coexisten 1º y 2º curso del plan nuevo y 3º, 4º y 5º del plan antiguo.

Esta titulación consta de estudios de primer ciclo (3 años sin título terminal) y segundo ciclo (2 años), con una *carga lectiva total* de 364'5 créditos (186 troncales, 69 obligatorios, 72 optativos y 37'5 de libre configuración) correspondiendo 208'5 créditos a primer ciclo y 156 a segundo ciclo. El primer ciclo (con 109'5 créditos troncales, 55'5 obligatorios y 24 optativos) deberá proporcionar una formación básica, mientras que las enseñanzas del segundo ciclo (con 76'5 créditos troncales, 13'5 obligatorios y 48 optativos) se orientarán a la formación avanzada y a la especialización. La baja troncalidad del segundo ciclo permite a las universidades otorgar a sus enseñanzas un perfil más cercano a la especialización tecnológica o a la profundización científica. Así pues, las universidades pueden establecer en los planes de estudio que aprueben, diversas orientaciones, especialidades interdisciplinarias y opciones formativas, garantizándose el carácter polivalente de la formación y la capacidad especializada que solicita la demanda. Estas podrán acreditarse por las universidades en los títulos que expidan (*suplemento al diploma*). Los alumnos podrán obtener créditos optativos y/o de libre elección mediante prácticas realizadas en empresas, instituciones públicas o privadas, etc. con las que la Escuela Politécnica Superior haya establecido un convenio. En este sentido, se está desarrollando un reglamento que regule esta actividad, siendo la equivalencia de 20 horas de práctica por crédito, con un máximo de 18 créditos. Los alumnos que cursen estudios similares en Universidades nacionales e internacionales con la que exista convenio suscrito por la Universidad de Alicante podrán acreditar por las asignaturas cursadas en las mismas hasta un máximo de 109,5 créditos.

En el plan de estudios de la Ingeniería en Informáticas de la Universidad de Alicante las materias relacionadas más directamente con la lógica abarcan un total de 12 créditos que se encuentran divididos a partes iguales, como puede verse en la tabla adjunta, en una asignatura obligatoria de primer curso incorporada por esta universidad, *Lógica Computacional*, y una optativa, *Razonamiento*, ambas adscritas al área de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial e impartidas por el departamento del mismo nombre, y que son objeto del concurso al que se refiere este proyecto docente. Estas dos asignaturas se tratarán detenidamente en los siguientes capítulos.

UNIVERSIDAD DE ALICANTE		ASIGNATURAS DE LÓGICA			
Asignatura	Curso	Créditos			Carácter
		Total	Teóricos	Prácticos	
<i>Lógica Computacional</i>	1º	6	3	3	Obligatorio
<i>Razonamiento</i>		6	3	3	Optativo

Tabla 8 : Asignaturas del perfil en el Plan de Estudios de Ingeniería en Informática de la Univ. de Alicante

En cuanto a los contenidos de cada una de ellas, en el Plan de Estudios se establece la siguiente breve descripción:

- *Lógica Computacional*: Lógica de Primer Orden (sintaxis y semántica). Sistemas de Deducción. Demostración Automática. Programación Lógica.
- *Razonamiento*: Métodos de Razonamiento Artificial. Razonamiento Condicional. Razonamiento con Incertidumbre. Razonamiento Temporal.

La asignatura *Lógica Computacional* es prerrequisito de las asignaturas *Fundamentos de Inteligencia Artificial* y *Técnicas de Inteligencia Artificial* y recomendación de *Razonamiento e Ingeniería del Lenguaje Natural*.

Teniendo en cuenta la estructura de las asignaturas y sus contenidos en el Plan de Estudios y considerando la revisión del contexto de estas asignaturas en los planes nacionales y del extranjero, se hacen las siguientes matizaciones y argumentaciones, que sostendrán la propuesta docente concreta planteada en los dos siguientes capítulos:

- La asignatura obligatoria *Lógica Computacional*, figura como materia específica con entidad propia, por tanto es posible abordar en profundidad los conceptos comunes a la lógica y desarrollar algunos específicos para informáticos.
- Deberá tenerse en cuenta en el desarrollo de los aspectos comunes que debe proporcionarse base suficiente para desarrollar los contenidos lógicos específicos en *Inteligencia Artificial* (según prerrequisitos).
- Por otro lado, teniendo en cuenta que la asignatura *Razonamiento* es optativa y basándose en sus contenidos según el Plan de Estudios, se considera aconsejable desarrollar sus conceptos teóricos en el marco de contextos de aplicación de la Inteligencia Artificial que requieran mecanismos de deducción y complementarlo con aplicaciones concretas.

En definitiva con la configuración expuesta y detallada en las programaciones concretas propuestas en los próximos capítulos se pretende:

- Diseñar una asignatura de *Lógica Computacional* con carácter de formación base para las áreas de la Informática que precisan de ella y a la vez con carácter específico sobre todo en el ámbito de la Inteligencia Artificial.
- Sentar las bases para la asignatura *Razonamiento* de forma que ponga al alumno en contacto con diversas áreas de aplicación de la Inteligencia Artificial en las que resulta insuficiente la lógica clásica.

3.3. LÓGICA, RAZONAMIENTO Y COMPUTACIÓN

La *Lógica Formal* forma parte ya de la cultura de la sociedad de la información y su conocimiento es imprescindible para realizar un trabajo serio en muchas tareas científicas. En concreto, la formalización del conocimiento es un paso previo e indispensable para poder automatizar formas de razonamiento y su posterior aplicación a muchas áreas de la Informática, y fundamentalmente de la Inteligencia Artificial. Y la gran ventaja del formalismo lógico es que proporciona de manera inmediata un método muy potente para la obtención de nuevo conocimiento a partir del antiguo: la deducción matemática. Como escribe Robert Moore [Moore, 1995] “dos importantes convicciones que he conservado desde los primeros días son : 1) que la mayoría de formas superiores de conducta inteligente requieren la representación explícita de conocimiento, y 2) que la lógica formal constituye la piedra angular de la representación del conocimiento”. Otro aspecto interesante de la lógica, y que justificaría por sí solo su inclusión en el currículo de informática, es el paradigma de la Programación Lógica. Los lenguajes de programación lógica son una aplicación directa de los conceptos y mecanismos de la Lógica Formal.

3.3.1. Evolución Histórica

El estudio de la historia de una determinada ciencia nos proporcionará una perspectiva global de la misma y su estructura general, así como la relación existente con otros campos del saber. Si se conoce cuál ha sido la evolución que ha sufrido una ciencia, se comprenderá mejor lo que se sabe de ella actualmente. No se debe olvidar que los conocimientos del momento surgieron como respuesta a problemas que se plantearon en su tiempo. Veamos por tanto la evolución que ha experimentado la lógica a lo largo de la historia para finalmente centrarnos en su estado actual y su papel en el desarrollo y aplicación de las nuevas tecnologías.

La Lógica desde Aristóteles

La Lógica se origina hace 2.500 años en la antigua Grecia. Aunque Sócrates y Platón fueron dos genios en el arte dialéctico, los principales logros en los estudios de la lógica como teoría de la inferencia se atribuyen a Aristóteles. Los Estoicos no sólo dominan el lenguaje de los conectores sino que cuentan con un sistema deductivo basado en cinco reglas de inferencia. Con ellos aparece la primera paradoja semántica “Todos los cretenses mienten”, que le fue atribuida al filósofo cretense Epiménides y que advierte que si es verdad que todos los cretenses mienten, como el es cretense también miente y por tanto la frase no es verdad. Así, se constituye en la antigüedad la lógica como ciencia dedicada a la identificación de formas humanas de razonamiento, con el objetivo de crear criterios de discernimiento de las verdades filosóficas, estudiando la construcción y el análisis de esquemas de argumentos. Esta concepción perdura durante la Edad Media y el Renacimiento. En el siglo XIII se producen intentos no-sistemáticos de mecanización del razonamiento (el *Ars Magna* de Llull). Pero es en el siglo XVIII cuando se inicia el camino de la formalización o matematización de la Lógica. En 1787 el filósofo alemán E. Kant llegó a decir que desde Aristóteles la lógica formal “no ha sido capaz de avanzar un sólo paso, y según todas las apariencias, es un cuerpo de doctrina cerrado y completo”. A la lógica formal, tal como venía siendo desde Aristóteles hasta Kant, se la ha llamado lógica tradicional.

La Imagen Matemática de la Lógica

En el siglo XVIII se inicia la gran evolución de la lógica como *ciencia de la cualidad*, con la incorporación a las técnicas de trabajo de ésta de la *exactitud* y el *rigor* matemático. A esta lógica se le llamará lógica simbólica o lógica matemática. Y para ello es necesario la definición de un lenguaje formal (artificial) y la utilización de unas reglas operacionales precisas. En su *Calculus Ratiocinator* («cálculo ideológico»), G. W. Leibniz formula la Lógica como un cálculo de razones como base de sus teorías matemáticas, de manera que mediante un sistema de reglas se pueda operar con las ideas de modo exacto, de manera similar a como se hace con los números en matemáticas. Propone un esquema de asignación de números a conceptos y plantea su manipulación formal, pero choca con el problema de la interconexión de los conceptos, donde queda manifiesta la extraordinaria complejidad de realizar una formalización completa.

Sobre esta base se realizan, a mediados del siglo XIX, nuevas y decisivas aportaciones, principalmente por dos ilustres matemáticos, George Boole y Gottlob Frege. En efecto, los trabajos de De Morgan y la publicación en 1854 de *The Laws of Thought* (Las Leyes del Pensamiento) de Boole [Boole, 1854], suponen la primera propuesta de un cálculo algebraico de significados proposicionales bivalentes o *álgebra lógica*, que tienen el mismo rigor que las leyes del álgebra matemática. Esto es completado en 1879 por la *Begriffsschrit* (Conceptografía) de Frege [Frege, 1879] con la definición del cálculo de predicados (Lógica de Primer Orden) en la que plantea la construcción de una escritura artificial perfecta que permite la formalización de la lógica deductiva elemental.

Ya en el siglo XIX destaca la escritura simbólica de Peano. En 1902 Russell manifiesta a Frege la detección de una aparente contradicción en su teoría: “Sea R, el conjunto de los conjuntos que no pertenecen a sí mismos. ¿Pertenece R a sí mismo?”. Russell, Whitehead

y North abordan este aspecto en su obra *Principia Mathematica*, donde se formula la teoría de tipos. En los años siguientes Brouwer y Hilbert fundan la escuela intuicionista y la escuela formalista, respectivamente, y plantean la axiomatización de las matemáticas; tenemos autores destacados como Wittgenstein y Lukasiewicz; Herbrand y Tarski desarrollan la semántica; Gentzen plantea la deducción natural; y el establecimiento de las teorías de computación de Emil Post y Alan Turing. En 1931 se publica el artículo, “*Sobre Cuestiones Formalmente Indecidibles de los Principia Mathematica y Sistemas Afines*”, escrito por Gödel [Gödel, 1931]. Este trabajo junto con el teorema de limitación de Church da al traste con los planteamientos axiomáticos de Hilbert y revoluciona los cimientos de la Lógica al identificar cuestiones no demostrables en los sistemas lógicos, tal como se plantea en el *teorema de incompletitud de la aritmética* (Teorema de Gödel)¹⁰. Este evento abre una etapa de desencanto, en cuanto a la Lógica se refiere, que se extiende hasta principios de los años 60 y durante la cual surgen las tablas semánticas de Beth y los hallazgos metalógicos de Henkin y Craig. Más relacionado con la computación, fue von Neumann quien introdujo el punto de vista formal y lógico en el diseño de la computación alrededor de 1945, lo que acabó conduciendo a la concepción del programa (“software”) como algo distinto del soporte material (“hardware”) y a la arquitectura actual de los computadores (con memoria y programas almacenables).

Inclusión en la Tecnología

La Informática marcará y determinará la siguiente etapa de desarrollo de la Lógica. A finales de los 50 y principios de los 60 la aparición de ordenadores de 3ª generación y el nacimiento de la *Inteligencia Artificial* (I.A.) impulsan de forma definitiva el desarrollo de la Lógica, proporcionándole soporte para experimentación y multitud de nuevos problemas y aplicaciones¹¹. Investigadores como McCarthy, Sanuels, Shortliffe y Newell, entre otros, trabajan con modelos basados en la lógica para la resolución de problemas que hasta el momento eran resueltos por personas. El primer programa de I.A., desarrollado en 1956 por Newell, Simon y Shaw, es el *Logic Theoristic* y tiene por objetivo demostrar de forma automática algunos de los teoremas de los “*Principia Mathematica*”, para lo cual desarrolla y gestiona un árbol de búsqueda. Esta aportación abre un nuevo campo de investigación, la *deducción automática*, basado en la utilización y extensión de las teorías lógicas para la formulación de problemas dentro del límite de la indecidibilidad de la Lógica de Primer Orden. En 1965 Robinson formula el *principio de resolución con unificación* [Robinson, 1965] y en 1969 Green [Green, 1969] sienta las bases de las estrategias de optimización computacional de los procesos de resolución y propone algoritmos de extracción de respuestas por resolución. En 1970, Colmerauer define el sistema Q [Colmerauer, 1970], embrión del lenguaje PROLOG [Colmerauer y otros, 1973].

¹⁰ Una versión asequible del teorema de Gödel la podemos encontrar en [Nagel y Newman, 1994]. Una excelente introducción a la vida y al trabajo de Gödel se encuentra en el libro [Casti y DePauli-Schimanovich, 2000]. Una original introducción a varios de los temas fundamentales de la lógica y de la teoría de la computación a través de las vidas de seis pensadores geniales (Frege, Cantor, Russell, von Neumann, Gödel y Turing) se expone en el libro [Mosterín, 2000].

¹¹ Para una visión de la aparición y evolución de la Inteligencia Artificial se puede acudir a [Crevier, 1996].

A primeros de la década de los 80 la Lógica constituye una base en el desarrollo de técnicas informáticas, enfocadas principalmente en tres grandes líneas:

- Mientras aparecían los primeros atisbos de programación lógica, el replanteamiento motivado por la crisis del software desemboca, en la década de los 70, en la aparición de nuevas líneas de trabajo. Una de ellas es la *verificación de algoritmos* y tiene por objetivo el desarrollo de métodos de comprobación de la consistencia del programa con un conjunto de declaraciones lógicas (predicados) intercaladas que representan la forma de entender el problema. Esta línea se desarrolla de forma significativa durante los años 80 impulsada por los trabajos de y Dijkstra.
- Otra línea de trabajo en la que la Lógica tiene un gran protagonismo es en el desarrollo, durante los años 70, de los *sistemas expertos*. Se plantea el problema de la representación y proceso del conocimiento. La necesidad de incrementar la capacidad expresiva de la lógica clásica motiva la aparición y desarrollo de extensiones para la modelización del *razonamiento de "sentido común"*: Lógica Modal (Lukasiewicz, Lewis, Carnap y Kripke), Lógicas Polivalentes (Lukasiewicz, Rosser, Zadeh), Lógicas no-Monótonas, etc.
- El papel fundamental de la Lógica en los *modelos formales de computación* queda patente en el desarrollo, durante los 70 y los 80, de los lenguajes declarativos, y especialmente los *lenguajes lógicos*. A partir de la idea de que los elementos fundamentales de la programación son: el *programa*, la *interpretación* (semántica declarativa) y el *mecanismo de computación* (semántica operacional), se desarrollan los estilos de programación declarativa, siendo los principales los estilos funcional y lógico, éste último basado en lógicas de primer orden (fundamentalmente cláusulas de Horn) [Kowalski, 1974].

Durante los 80 toma cuerpo el desarrollo, liderado por Japón, de los lenguajes lógicos (y también funcionales) como base (lenguaje máquina) de las arquitecturas computacionales de 5ª generación, como alternativa a la arquitectura clásica de von Newman. La idea fundamental es producir máquinas adaptadas tanto a procesar *datos* como *conocimientos*. Aunque parece ser que este proyecto no ha llegado a ver la luz. Finalmente, en los años siguientes la programación declarativa, y en particular la lógica [Bruynooghe y otros, 1994], se ha desarrollado ampliamente tomando contacto con otros campos como son el Lenguaje Natural, las Bases de Datos (restricciones de integridad, bases de datos deductivas, etc.), o el Prototipado Automático (especificación de sistemas de información), combinación que está resultando ser muy productiva en la actualidad y cuyos resultados definirán el protagonismo futuro de la Lógica en la Informática [Handbook, 1992a].

Lógicas No Clásicas

Posiblemente el rasgo más destacable del estado actual de la lógica sea la existencia y proliferación de las llamadas *Lógicas No Clásicas*, surgidas como respuesta a la aplicación de la lógica a los problemas de la Inteligencia Artificial para la representación del conocimiento [Handbook, 1993d]. Se trata de sistemas lógicos que difieren en una o más cualidades de la lógica clásica. Las características que asumimos en los sistemas lógicos clásicos serían, entre otras:

- los enunciados están provistos de un valor de verdad

- dichos valores de verdad son únicamente dos : *verdadero* o *falso*
- no existen matizaciones entre estos valores
- las conexiones entre enunciados dan lugar a enunciados compuestos cuyo valor de verdad está completamente en función de los valores de verdad de los enunciados conectados

Resumiendo podemos decir que la lógica clásica es *apofántica bivalente asertórica y extensional*. Con respecto a estas características, y en contraposición a la lógica normal, van surgiendo distintas *lógicas desviadas o divergentes*:

<i>Polivalente</i>	Lukasiewicz, Post, Rosser	Cuestionan el principio de bivalencia. Tenemos lógicas finitamente polivalentes (trivalente, ...) e infinitamente polivalentes.
<i>Difusa</i> ("fuzzy")	Zadeh	Se trata de una lógica polivalente que trata el tema de la vaguedad (ambigüedad, imprecisión, carácter borroso de ciertos términos, ...).
<i>Probabilística</i>	Bacchus, Pearl	Aplicación de las probabilidades y el conocimiento estadístico a sistemas formales de razonamiento y representación del conocimiento.
<i>No monótonas</i>	McDermott, McCarthy	La obtención de nueva información puede llevarnos a revisar y/o cambiar creencias anteriores.
<i>Temporal</i>	Gardies, Allen, McDermott	Reconoce la existencia de esquemas de inferencia específicamente temporales, donde una misma sentencia puede tener diferente valor de verdad en diferentes momentos.
<i>Modal</i>	Lewis, Carnap, Kripke	Incorpora matices a la valoración de verdad de los enunciados, admitiendo modalidades de esa verdad: necesario, posible, imposible, ...
<i>Deóntica</i>	Wright	Se puede considerar una rama de la Lógica Modal. Se ocuparía de las relaciones de inferencia entre normas, es decir, entre proposiciones prescriptivas (obligatorias).
<i>Intuicionista</i>	Heyting, Dummett	
<i>Combinatoria</i>	Curry	
<i>Epistémica</i>	Hintikka	
...	...	

3.3.2. Programas para la Enseñanza de la Lógica

En los últimos años ha habido un creciente interés por la lógica desde el campo de la informática, ya que ésta aporta un método formal para la gestión del conocimiento (tanto en el aspecto de representación como de razonamiento). Como contrapartida, los informáticos han desarrollado distintos programas que ayudan a los estudiantes a adquirir estas técnicas formales [Goldson, Reeves, y Bornat, 1993]. Los ordenadores nos proporcionan una excelente herramienta para entender, de forma práctica, algunas de las nociones fundamentales de la lógica así como la forma de representar y razonar [Barwise y Etchemendy, 1998]. En junio de 2000 tuvo lugar en la Universidad de Salamanca el *First International Congress on Tools for Teaching Logic* [TTL, 2000], donde se puede encontrar una panorámica de los programas y herramientas software existentes para la enseñanza de la lógica.

Los trabajos pioneros y más representativos son los llevados a cabo por Jon Barwise y John Etchemendy [Barwise y Etchemendy, 2000] del “Center for the Study of Language and Information” (CSLI) de la Universidad de Stanford y por los que recibieron en 1997 la Educom Medal. Presentan una nueva aproximación pedagógica a la enseñanza de la Lógica de Primer Orden que tiene sus precedentes en los libros “The Language of First Order Logic” [Barwise] y “Hyperproof” [Barwise], que partiendo de las ventajas que nos proporcionan los programas Tarski’s World, Fitch y Boole trabajan los distintos conceptos de la lógica. Su gran interés radica en que los estudiantes aprenden mejor lógica a través de los problemas, y la mejor manera de aprender un lenguaje es utilizándolo directamente. *Tarski’s World* proporciona un entorno de manera que podemos construir mundos tridimensionales de bloques y describirlos en el lenguaje simbólico de la lógica de primer orden, utilizando y practicando el lenguaje de la lógica de primer orden de la misma manera que usamos el lenguaje natural. *Fitch* ayuda a los estudiantes a construir pruebas usando el estilo de deducción natural, comprobando la demostración, respondiendo si es correcta y si no lo es indicando los pasos erróneos. *Boole* permite construir tablas de verdad. Además se acompaña del programa *Submit* que permite entregar los ejercicios accediendo al “Grade Grinder”, un servicio de corrección de ejercicios a través de internet.

En el departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, los profesores responsables de las asignaturas relacionadas con la lógica (logica@dccia.ua.es) hemos ido diseñando y realizando, con la ayuda de estudiantes de ingeniería informática, a través de proyectos finales de carrera o trabajos en las distintas asignaturas, herramientas didácticas de apoyo para la enseñanza/aprendizaje de la lógica (<http://www.dccia.ua.es/logica>). Una de ellas es el programa *MyC* (*Moros y Cristianos*), que está basado en el programa Tarski’s World. Otra es el *Asistente para Deducción Natural* (ADN), que supervisa las demostraciones que realizamos utilizando la técnica de la deducción natural y nos da pistas de los pasos posibles a seguir ([Llorens y Mira, 2000a], [Llorens y Mira, 2000b] y [Llorens y Mira, 2002]). Veremos ambos con más detalle en la programación de la asignatura.

3.3.3.Principios para la Enseñanza de la Lógica

La Lógica se ha convertido en uno de los fundamentos matemáticos y en una base formal indispensable en todo informático. La formalización del conocimiento y la automatización de las formas de razonamiento son primordiales en muchas áreas de la Informática. La importancia de la Lógica en los currículos de Informática va tomando cuerpo propio debido a sus aplicaciones en contextos específicos tales como la Programación, la Ingeniería del Software, el Diseño de Sistemas de Bases de Datos y la Inteligencia Artificial [Bender, 1996], [Russell y Norving, 1996], [Bratko, 1990]. En los últimos años han ido surgiendo libros de texto de lógica escritos específicamente para estudiantes de Ingeniería Informática, que abordan la Lógica desde una perspectiva de aplicación a la computación [Nerode y Shore, 1997], [Grassmann y Tremblay, 1997], [Arenas, 1996], [Reeves y Clarke, 1993], [Cuenca, 1985]. Por todo ello, el programa de la asignatura va más allá de la Lógica Formal o Matemática para adentrarse en los aspectos de la *Resolución Automática de Teoremas* y la *Programación Lógica*.

Empleada como un lenguaje para comunicarse con los ordenadores, la lógica representa un formalismo de nivel superior y más orientado a la persona que otros lenguajes de programación clásicos, y por ello se ha convertido en el pilar de una nueva generación de lenguajes de programación: la *Programación Lógica* [Dodd, 1990]. Este paradigma de programación justificaría por sí solo la inclusión de la Lógica en el currículo de Informática. En la parte práctica de la asignatura se estudiará *Prolog* ("PROgramation en LOGique") [Sterling y Shapiro, 1994], [O'Keefe, 1990], [Giannesini y otros, 1989], [Clocksin y Mellish, 1987], el más extendido de los lenguajes de programación lógica basado en el cálculo de predicados de primer orden y ampliamente utilizado en investigaciones de Inteligencia Artificial [Kowalski, 1986]. La idea central la podemos resumir utilizando la conocida ecuación de Kowalski *algoritmo=lógica+control*, de manera que el control (estrategia para encontrar la solución) lo dejamos en manos de la máquina y sólo debemos preocuparnos de la lógica (información acerca del problema).

Por otro lado, la enseñanza de la lógica puede ser divertida y no tiene porqué ser estirada, aburrida y sólo para iniciados; tiene muchos aspectos lúdicos que harán más interesantes nuestras clases. Ludwig Wittgenstein, filósofo austriaco, escribió que "podría escribirse una obra filosófica buena y seria compuesta enteramente por chistes". Si se entiende el chiste se entenderá el argumento implícito en él. Para ello se pueden consultar una serie de *pequeños* libros escritos por *grandes* autores [Carroll, 1988], [Gardner, 1989], [Paulos, 1994], [Smullyan, 1991], con un claro carácter lúdico y recreativo pero que son mucho más que simples amenidades, y que pueden llevarnos hasta nociones muy profundas. Al final de cada tema hemos incluido una sección que hemos titulado "La Lógica en la Vida" que presenta actividades entresacadas de este tipo de libros y relacionadas con el tema en cuestión. Libros como *Razón, dulce razón* [Tymoczko y Henle, 2002] al mismo tiempo que describen los fundamentos básicos de la lógica formal e informal, sitúan al estudiante en el mundo real haciéndole disfrutar, entreteniéndole y sorpreendiéndole con la lógica.

Por último, las posibilidades de éxito académico de los estudiantes dependen en gran medida de la comprensión de las demandas del profesor, es decir "qué quiere que los estudiantes hagan y cómo quiere que lo hagan". Por ello se les facilitará al inicio del curso la *guía de la asignatura*, documento redactado por el profesor en el que se explican pormenorizadamente las tareas que el alumno deberá realizar a lo largo del curso y los productos que tiene que generar para demostrar que ha conseguido el aprendizaje

previsto en la asignatura. Al mismo tiempo, en la sesión de presentación de la asignatura se determinarán de forma clara las *reglas de juego*, de forma que a partir de ese momento cada actor del proceso de enseñanza/aprendizaje sabrá cuál es su papel y en qué condiciones podrá alcanzar el éxito de su empresa.

CAPÍTULO 4

LÓGICA COMPUTACIONAL

Nuestra presuposición de partida es que el lector, y todos, sabemos ya de antemano una cantidad considerable de lógica. Si no fuera así, no podríamos siquiera hablar, menos aún manejarnos por el mundo. Así que nuestro primer objetivo es hacer ese conocimiento suyo explícito, sistemático y preciso.

Tom Tymoczko y Jim Henle, *Razón, dulce razón*

Vista ya la programación macrodidáctica (contextualización del proceso de enseñanza) en los capítulos anteriores, es el momento de entrar en la *microprogramación*, es decir, la programación de los detalles concretos del proceso de aprendizaje para una determinada asignatura. En este punto es cuando se debe plantear la preparación, elaboración y puesta en marcha del programa, por medio de un proceso de transformación y/o modificación del currículo para adecuarlo a las características particulares de la situación de enseñanza concreta a la que debemos enfrentarnos.

En este capítulo presentamos la programación de la asignatura *Lógica Computacional*. Más información se puede encontrar en la página web de la misma:

<http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/LC>

4.1. OBJETIVOS Y MAPAS DE LA ASIGNATURA

Este primer apartado sirve para situarnos en la asignatura. Para ello en primer lugar enunciamos los objetivos que se pretenden alcanzar. Los otros dos subapartados nos proporcionan información visual. Los mapas nos permiten orientarnos y navegar por la asignatura, utilizando como hilo conductor los temas (clasificación sistemática del contenido) con el *mapa temático* o valiéndonos de los conceptos y sus relaciones mediante el *mapa conceptual*.

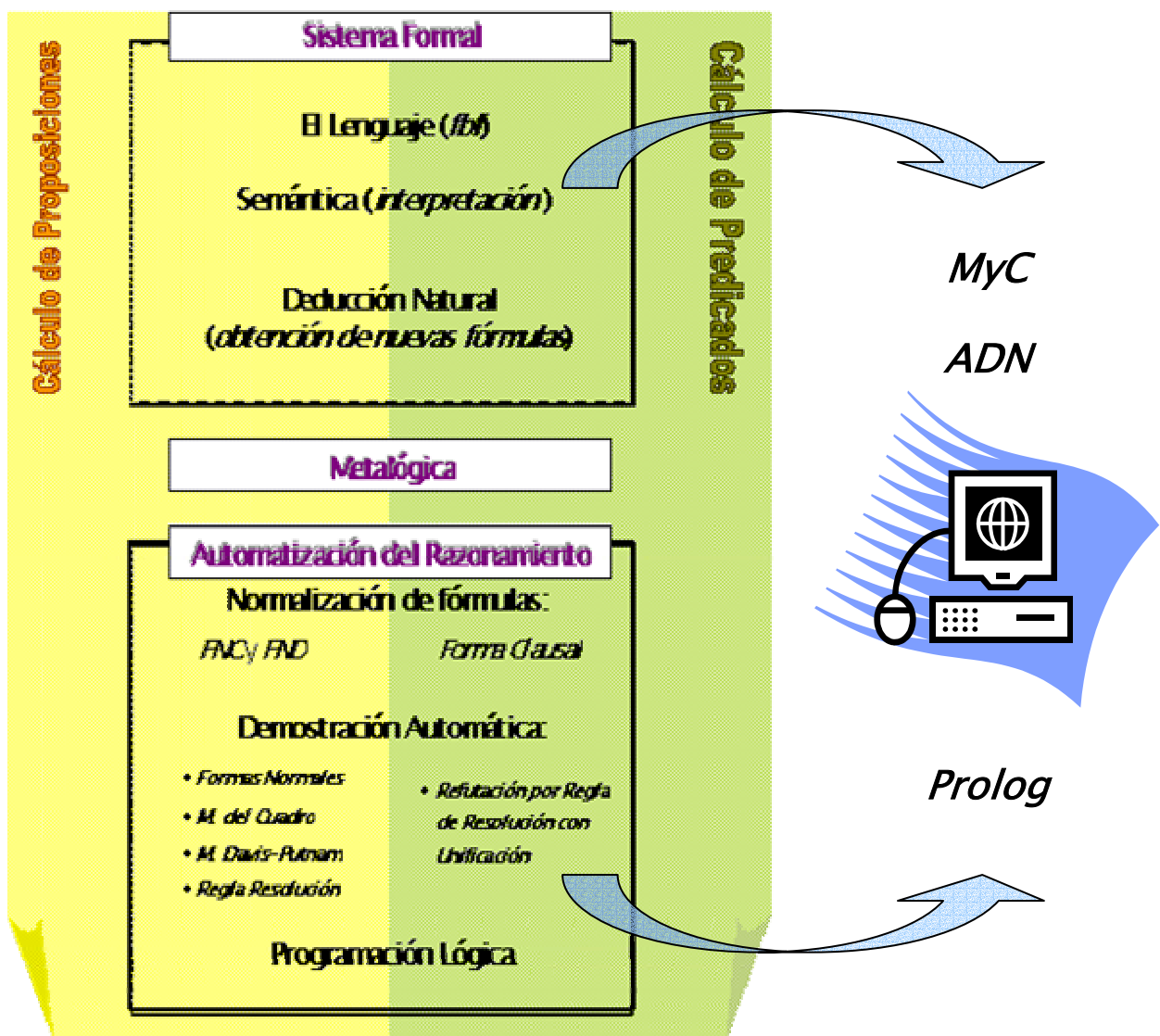
4.1.1. Objetivos

Los objetivos generales que se persiguen en esta asignatura son los siguientes:

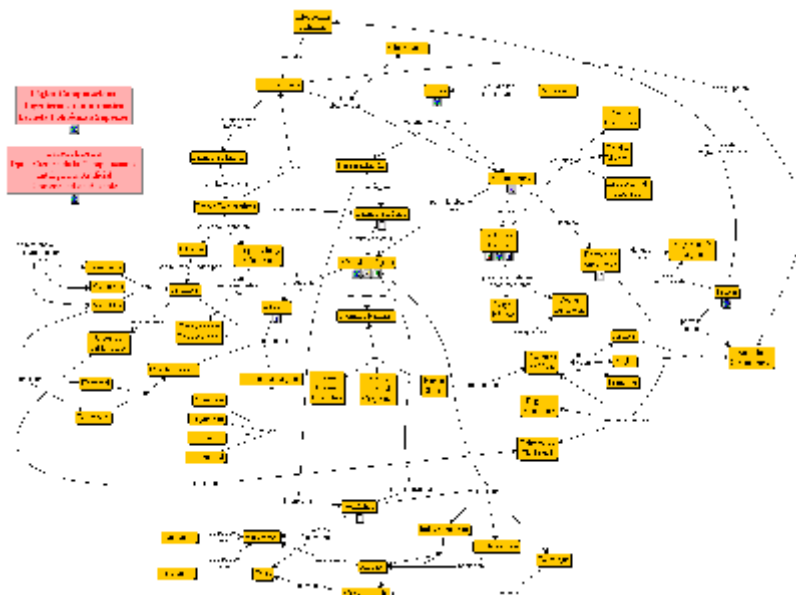
1. Proporcionar una formación sólida en los fundamentos formales de la Lógica de Primer Orden (sintaxis y semántica), los Sistemas de Deducción, la Demostración Automática y la Programación Lógica.
2. Desarrollar habilidades y aptitudes para la representación formal del conocimiento, la operación simbólica sobre sistemas formales, la demostración y la interpretación semántica.
3. Capacitar al alumno para el acceso y comprensión de la literatura general y específica de Lógica, dotándolo de un dominio del vocabulario técnico básico de dicho campo.
4. Proporcionar la habilidad literaria para la lógica, esto es, que los estudiantes puedan leer y escribir en lógica simbólica y que puedan percibir la potencia tanto deductiva como expresiva de la lógica.
5. Habilitar al alumno para saber pensar de forma lógica, analítica, crítica y estructurada.
6. Comunicar la belleza y la emoción de la lógica.

7. Conocer el contexto de la Lógica en la Informática y captar su relación con ramas específicas como la Inteligencia Artificial.
8. Tomar contacto con lenguajes y herramientas experimentales con el doble objeto de afianzar los contenidos teóricos e instrumentar sistemas de demostración.
9. Comprender los mecanismos computacionales asociados a las problemáticas de la demostración automática y la programación lógica, y descubrir la importancia del control en su resolución.
10. Introducir al alumno en la utilización de la lógica como formalismo para la resolución con ordenador de problemas de inteligencia artificial.
11. Introducir al alumno en el paradigma de la Programación Lógica, alternativa y complemento a los lenguajes de programación procedimentales clásicos.

4.1.2. Mapa Temático



4.1.3. Mapa Conceptual



Este mapa se encuentra en tamaño A3 en las páginas finales de este documento

4.2. ESTRUCTURA

Teniendo en cuenta todos los requerimientos analizados en los temas previos del proyecto, la asignatura quedará estructurada en dos grandes bloques: los contenidos de carácter teórico, aquellos que podemos encontrar en libros de texto y que se impartirán en el aula (grupo grande) y los contenidos de carácter práctico, aquellos para los cuales utilizaremos programas de ordenador y se impartirán en el laboratorio de ordenadores (grupos pequeños). En la Tabla 9 se encuentra la estructura propuesta y que paso a detallar en los siguientes apartados.

Tabla 9: Estructura de *Lógica Computacional*

LÓGICA COMPUTACIONAL		1 ^{er} curso
Dpto. de <i>Ciencia de la Computación e</i>		Obligatoria
<i>Inteligencia Artificial</i>		6 Créditos
Universidad de Alicante		(3 Teoría y 3 Prácticas)
Tema	Título	
Bloque Teórico		
Capítulo 1	Evolución Histórica de la Lógica	
Capítulo 2	El Lenguaje de la Lógica de Primer Orden	
Capítulo 3	Teoría Semántica	
Capítulo 4	Deducción Natural	
Capítulo 5	Metalógica	
Capítulo 6	Normalización de Fórmulas	
Capítulo 7	Técnicas de Demostración Automática	
Capítulo 8	Programación Lógica	
Bloque Práctico		
Programa I	MyC: Evaluación Sintáctica y Semántica de Fórmulas Lógicas	
Programa II	ADN: Métodos de Demostración	
Programa III	Prolog: Programación Lógica	

4.2.1. Contenidos Teóricos

Capítulo 1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA LÓGICA

1.1. Etapas de Desarrollo Histórico de la Lógica

- La Lógica desde Aristóteles
- La imagen Matemática de la Lógica
- Inclusión en la Tecnología
- Lógicas No Clásicas

1.2. Lógica de Primer Orden

- Cálculo de Proposiciones y Cálculo de Predicados
- Teoría Sintáctica y Teoría Semántica
- Sistema Formal : Lenguaje Formal, Noción de Verdad y Método de Cálculo

Se trata de un tema introductorio basado en la máxima “sólo conociendo el pasado se puede comprender el presente”. Si se conoce cual ha sido la evolución de una ciencia y el contexto histórico en el que se ha desarrollado, se comprenderá mejor lo que se sabe de ella actualmente permitiéndonos afrontar de una manera más adecuada y crítica el presente y, por ello, se evitará, en parte, caer en los mismos errores del pasado. No olvidemos que los conocimientos del momento surgieron como respuesta a problemas que se plantearon en su tiempo. En este capítulo se dará un rápido repaso por la historia de la Lógica, desde Aristóteles hasta la actualidad, en los que la revolución de la Informática ha representado un nuevo auge de la lógica. También se verá, de manera muy breve, en que consiste la Lógica de Primer Orden: diferenciando entre *Cálculo de Proposiciones* y *Cálculo de Predicados*, según el nivel de detalle con que se analizan las sentencias; entre Sintaxis y Semántica, según las estudiemos en función de su estructura o desde el punto de vista de su verdad o falsedad; y enmarcándola como un sistema formal

y con ello consistente en un modelo matemático que nos facilita un lenguaje (capítulo 2), una interpretación (capítulo 3) y una regla de cálculo (capítulo 4).

Capítulo 2. EL LENGUAJE DE LA LÓGICA DE PRIMER ORDEN

- 2.1. Introducción
- 2.2. El Lenguaje de Proposiciones
 - Alfabeto
 - Enunciados o Proposiciones Atómicas
 - Conectivas: negación, conjunción, disyunción, implicación y coimplicación
 - Fórmulas Bien Formadas (fbf)
- 2.3. El Lenguaje de Predicados
 - Extensión del Alfabeto del Lenguaje de Proposiciones
 - Términos (constantes, variables y funciones) y Predicados
 - Dominio y Cuantificación
 - Fórmulas Bien Formadas (fbf)
 - Análisis de Enunciados Cuantificados
- 2.4. Formulación de Argumentos
- 2.5. Limitaciones Expresivas de la Lógica de Primer Orden

La lógica pretende formalizar las expresiones del conocimiento humano. Y dicho conocimiento se adquiere y transmite por medio del lenguaje. Pero el lenguaje natural que utilizamos es ambiguo y engorroso, y por ello, para trabajar formalmente con conocimiento, se necesita un lenguaje artificial. En un primer momento se trabajará con *proposiciones*, es decir, frases declarativas simples tomadas en bloque. En una segunda parte se descompondrán las frases en sujeto y predicado, dando lugar a los conceptos de *términos* y *predicados*, y los que estos conllevan de dominio y cuantificación. El lenguaje de proposiciones es más sencillo y por tanto su manipulación será más fácil, y en cambio el lenguaje de predicados es más potente y expresivo. En el momento de la formalización se deberá, por tanto, elegir entre sencillez o expresividad. El último apartado analiza las limitaciones expresivas del lenguaje de predicados. Al final del tema se deberá estar familiarizado con el Lenguaje de la Lógica de Primer Orden, esto es, las *fórmulas bien formadas* del Cálculo de Predicados, ya que a partir de este momento éste será nuestro medio de expresión de conocimiento.

Capítulo 3. TEORÍA SEMÁNTICA

- 3.1. Conceptos Semánticos Básicos
 - Valores de Verdad
 - Definición Semántica de Conectivas Lógicas
 - Clasificación de Fórmulas Lógicas
 - Análisis Semántico de Deducción Correcta
- 3.2. Semántica de Proposiciones
 - Estudio de las Tablas de Verdad
 - Métodos Semánticos de Valoración
- 3.3. Semántica de Predicados
 - Definición Semántica de los Nuevos Elementos:
 - Universo del Discurso o Dominio de Referencia
 - Predicados : relación n-ária
 - Cuantificadores
 - Análisis y Estudio de las Tablas de Verdad

- Métodos Semánticos de Valoración

3.4. Estudio y Análisis Semántico del Conjunto de Conectivas

Como ya se ha visto, la construcción de un Sistema Formal implica la definición de la noción de verdad para la interpretación de las fórmulas de dicho sistema, obteniendo así un sistema formal interpretado. En este capítulo se verá el aspecto semántico de la lógica, tanto para el cálculo de Proposiciones como para el cálculo de Predicados. Definiremos semánticamente cada uno de los elementos del lenguaje dados en el tema anterior. Como se trata de la lógica clásica, para una fórmula lógica y una interpretación dada únicamente se tienen dos posibles valores de verdad: *verdadero* y *falso*. Pero no nos limitaremos a estudiar el valor de verdad de una fórmula lógica (sentencia) en un momento dado (interpretación) si no que nos interesará su comportamiento en cualquier situación. Diremos que es una *tautología* si la fórmula es cierta para cualquier interpretación; *contradicción* si es siempre falsa; y *contingencia* si unas veces es verdadera y otras falsa. Vamos a estudiar distintos métodos para clasificar semánticamente a una fórmula dada: tablas de verdad, contrajemplo, etc.

Capítulo 4. DEDUCCIÓN NATURAL

4.1. Introducción

- Razonamiento
- Cálculo Lógico

4.2. Reglas Básicas

- De Implicación: MP y TD
- De Conjunción: IC y EC
- De Disyunción: ID y ED
- De Negación: IN y EN
- De Cuantificación Universal: IU y EU
- De Cuantificación Existencial: IE y EE

4.3. Resolución de Argumentos

- Subpruebas
- Resolución de Argumentos

4.4. Estrategias Básicas de Demostración

- Prueba Trivial
- Prueba Vacía
- Prueba Directa
- Prueba Indirecta
- Prueba por Contradicción o Reducción al Absurdo
- Prueba por Casos o Exhaustiva

4.5. Reglas Derivadas

- Reglas de Implicación
- Reglas de Conjunción y Disyunción
- Reglas de Negación
- Reglas de Cuantificación
- Reglas de Interdefinición y Leyes de De Morgan
- Reglas Adicionales

4.6. Reflexiones sobre la Deducción

- Deducción versus Computación
- Visualización Gráfica de Deducciones

Todo Sistema Formal define un método de cálculo que permite deducir nuevas fórmulas a partir de las conocidas por simple manipulación sintáctica. Se estudiará el método de

Deducción Natural, por ser el que está más cercano al razonamiento intuitivo del ser humano al basarse en la aplicación de reglas. Consiste en dividir el salto cognitivo que va desde las premisas hasta la conclusión en pequeños pasos. Para ello vamos escribiendo una secuencia de fórmulas, partiendo de las premisas y justificando cada nueva fórmula que obtenemos, hasta llegar a la conclusión. Así, de forma sencilla, a partir de las fórmulas dadas, y mediante la aplicación de *reglas*, se obtienen nuevas fórmulas. Por último hacemos algunas reflexiones sobre la deducción, así, podemos considerar la deducción como una forma de computación ya que ¿un programa no es una deducción en la cual a partir de unas entradas (premisas) obtenemos determinadas salidas (conclusiones)? También trabajaremos con una representación visual de las deducciones que nos ayudarán a entenderlas.

Capítulo 5. METALÓGICA

- 5.1. Teorema de Deducción
- 5.2. Propiedades Formales
- 5.3. Metalógica del Cálculo de Proposiciones
- 5.4. Metalógica del Cálculo de Predicados

La metateoría es una disciplina que se ocupa del estudio de las propiedades de un sistema formal por medio de un metalenguaje. La Metalógica es, por tanto, la disciplina que estudia los cálculos o lenguajes lógicos, y desarrolla propiedades de estos sistemas formales como la *completud*, *consistencia*, *decibilidad*, independencia de los axiomas, etc. Mediante las propiedades de la metalógica, demostraremos en cada uno de los sistemas definidos (cálculo de proposiciones y cálculo de predicados) que una fórmula es tautología si y solo si es válida, o dicho de otra forma que una fórmula es semántica válida en teoría de la interpretación si y solo si es formalmente válida en teoría de la demostración. En este capítulo vamos a desarrollar y aplicar el *Teorema de Deducción*, que sirve de puente entre los conceptos de deducción correcta y fórmula válida.

Capítulo 6. NORMALIZACIÓN DE FÓRMULAS

- 6.1. Formas Normales del Cálculo de Proposiciones
 - Forma Normal Conjuntiva
 - Forma Normal Disyuntiva
- 6.2. Métodos de Demostración Basados en Formas Normales
 - Obtención del Valor de Verdad de una fórmula a partir de la FNC y FND
 - Método del Cuadro
 - Método de Davis-Putnam
- 6.3. Formas Normales del Cálculo de Predicados
 - Forma Normal de Prenex
 - Forma Normal de Skolem
 - Forma Clausal

Capítulo previo del bloque de automatización del razonamiento. En capítulos anteriores se ha visto cómo construir fórmulas bien formadas, y cómo obtener nuevas fórmulas a partir de otras ya conocidas. Pero, si nos fijamos, se puede ver que un mismo enunciado puede estar representado por distintas fórmulas. En este tema se estudiará como normalizar fórmulas bien formadas del Cálculo de Proposiciones, y de manera más general, del Cálculo de Predicados. Se trata de, por simple manipulación sintáctica, obtener una representación única para cada sentencia, que se llama *Forma Normal*. Estas

formas normales son muy importantes cuando aplicamos la lógica a la informática. Además, mediante el estudio de estas formas normales, será más fácil la clasificación semántica de dichas fórmulas sin tener que hacer un estudio exhaustivo de todas las interpretaciones, tal como se plasmaba en las tablas de verdad. Así, se describirán unos métodos puramente mecánicos que permiten determinar la clasificación semántica de una fórmula proposicional, como preparación del próximo capítulo.

Capítulo 7. TÉCNICAS DE DEMOSTRACIÓN AUTOMÁTICA

7.1. Bases Teóricas

- Sistemas de Refutación
- Teorema de Herbrand

7.2. Método de Unificación y Resolución

- Sustituciones y Unificación
- Regla de Resolución
- Sistemas de Refutación por Resolución

7.3. Obtención de Respuestas mediante Refutación por Resolución

Llegados a este punto estudiaremos procedimientos para construir demostraciones que sean adecuados para su realización utilizando el ordenador y así de esta manera poder implementarlos. Para ello en este tema vamos a ver una serie de técnicas para resolver problemas deductivos de manera automática, como paso previo a la Programación Lógica. La mayoría de procedimientos descritos en la literatura clásica son no deterministas, como hemos podido comprobar; muchos de ellos son capaces de proporcionar cortas demostraciones cuando utilizamos conocimiento e inteligencia, es decir cuando son usados por humanos, pero pueden llegar a ser extraordinariamente infinitos si se usan de manera puramente mecánica. Sin embargo, algunos pueden ser adaptados a usos mecánicos. Estos métodos se basan en definir y trabajar sobre un dominio especial, el *Universo de Herbrand*. Apoyados en este dominio y tras definir una serie de conceptos, como *Sustitución* y *Unificación*, se desarrollará la *Regla de Resolución*, una de las reglas más importantes de la lógica desde el punto de vista de su aplicación a la informática.

Capítulo 8. PROGRAMACIÓN LÓGICA

8.1. Introducción

8.2. Representación de Programas Lógicos

- Notación para la Programación Lógica
- Cláusulas de Horn Definidas

8.3. Semántica de Programas Lógicos

- Semántica Operacional: SLD-Resolución
- Semántica Declarativa: Modelo Mínimo de Herbrand

8.4. Prolog

Llegados a este punto, se ha visto como puede servir la Lógica para representar el conocimiento declarativo sobre diferentes campos del saber, así como para extraer nuevos conocimientos a partir de los que se posean mediante la demostración automática de teoremas. Toda esta base teórica dio como resultado la aparición de una clase de lenguajes de programación: la *Programación Lógica*. Como punto final se verá como la Lógica de Primer Orden, o mejor dicho, un subconjunto de ella llamado *cláusulas de Horn*, puede dar lugar a los programas lógicos, y con ello, a un nuevo estilo de programación. También

matizaremos la regla de resolución para que podamos realmente automatizar el procedimiento de prueba: *SLD-Resolución*.

4.2.2.Contenidos Prácticos

Programa I: **MyC: EVALUACIÓN SINTÁCTICA Y SEMÁNTICA DE FÓRMULAS LÓGICAS**

- I.1. El Entorno de *Moros y Cristianos* (MyC).
 - Introducción
 - Instalación y Requerimientos
 - Manejo del Programa
- I.2. El Lenguaje
 - Descripción
 - Evaluación Sintáctica de fórmulas sin cuantificación
 - Evaluación Sintáctica de fórmulas con cuantificación
 - Traducción de fórmulas a lenguaje natural
- I.3. Los Mundos
 - Descripción
 - Evaluación Semántica de fórmulas sin cuantificación
 - Evaluación Semántica de fórmulas con cuantificación
 - Clasificación semántica de fórmulas
 - Análisis semántico de fórmulas
- I.4. Otros Ejercicios
 - Equivalencia de fórmulas



Moros y Cristianos (MyC) (<http://www.dccia.ua.es/logica/MyC>) es una herramienta didáctica para el aprendizaje práctico de la lógica de primer orden. Este programa ha sido desarrollado en el departamento de *Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial* de la Universidad de Alicante, bajo la dirección del profesor Faraón Llorens y programado por Eugenio Arjones y Alfredo Soro. Se trata de un programa de apoyo dirigido fundamentalmente a los alumnos de las asignaturas relacionadas con la *lógica* impartidas desde el departamento, orientado al análisis de fórmulas lógicas, tanto en el aspecto sintáctico como en el semántico, en un intento de consolidar los conceptos teóricos y asentarlos mediante un entorno amigable.

El programa permite la introducción de fórmulas lógicas y su análisis sintáctico para determinar si son *fórmulas bien formadas (fbf)*. Estas fórmulas pueden ser evaluadas semánticamente en *mundos* (interpretaciones) que nos permitirán evaluar semánticamente

dichas fbf. La ventaja estriba en que estos mundos ya nos son abstractos, sino que son tangibles y reales, y estarán definidos por el alumno que podrá añadir, quitar y modificar sus componentes. Estos individuos de nuestros mundos podrán ser *moros* o *cristianos*, que a su vez pueden tener algunas propiedades, como por ejemplo *llevar armadura*, *tener espada* y *montar a caballo*. Esto permite al alumno que se inicia en el aprendizaje de la lógica entender de forma práctica los conceptos lógicos, conceptos que por sí solos son de naturaleza eminentemente abstracta y por ello difíciles de entender.

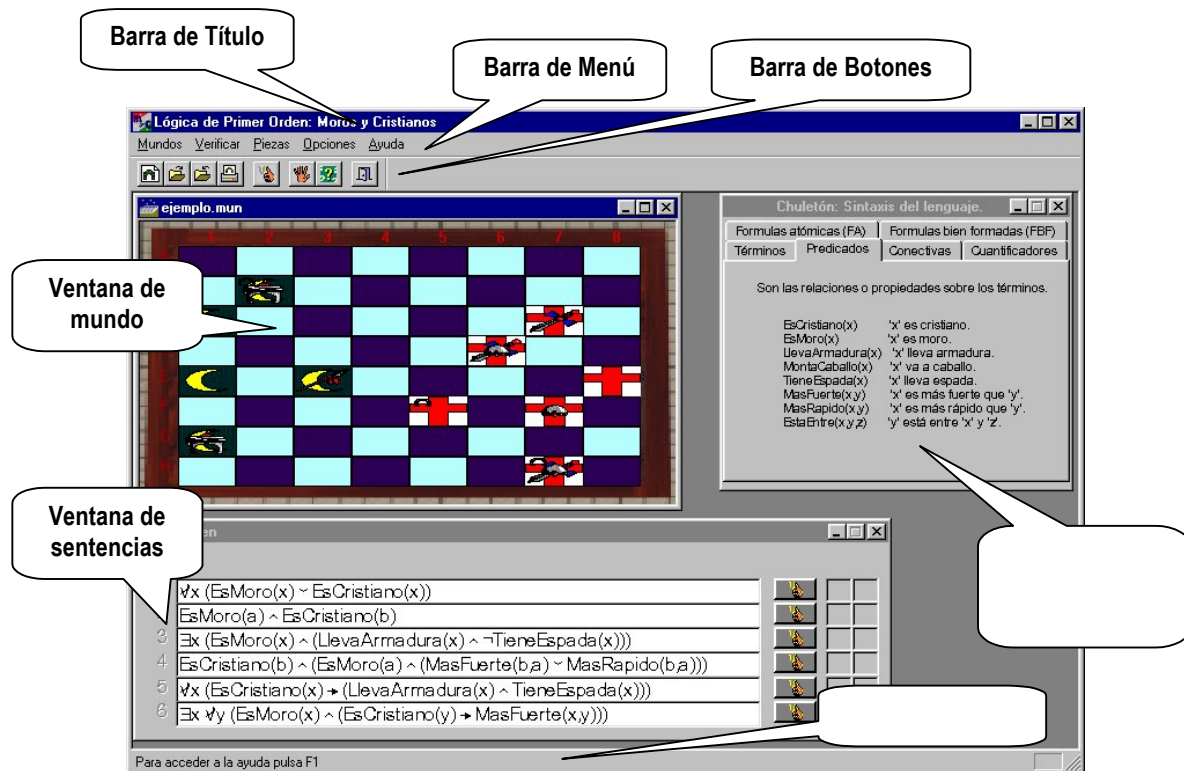


Imagen 2:

El lenguaje que vamos a utilizar para representar nuestras sentencias (nuestro conocimiento y visión del mundo en el que trabajaremos) será el *lenguaje de la lógica de primer orden*, adaptando y restringiremos el alfabeto a las características de los posibles mundos que podemos representar (formados por moros y cristianos con sus respectivas propiedades particulares).

Para poder evaluar semánticamente las fórmulas bien formadas que hemos escrito antes (estudiar el significado y el valor de verdad de dichas fbf), necesitamos un mundo donde interpretarlas. Para ello, en lugar de trabajar en abstracto, con cualquier mundo pensable (cualquier dominio o universo del discurso), adoptaremos un enfoque minimalista de forma que “cerraremos” el mundo donde evaluamos nuestras sentencias. Por tanto asumimos que los únicos individuos que existen y las únicas propiedades que se cumplen son las que aparecen explícitamente representadas en el mundo.

Nuestro *mundo* se limita a un tablero de 8 x 8 posiciones (64 casillas) donde podemos situar a nuestros individuos. Cada posición vendrá determinada por la fila (de la A a la H) y la columna (del 1 al 8). Estos individuos que podremos incluir en nuestro mundo podrán ser exclusivamente *moros* o *cristianos* y podrán tener alguna de las características permitidas (*espada*, *armadura* y *caballo*). La representación gráfica para los distintos tipos de individuos de que disponemos la podemos ver en la siguiente figura.

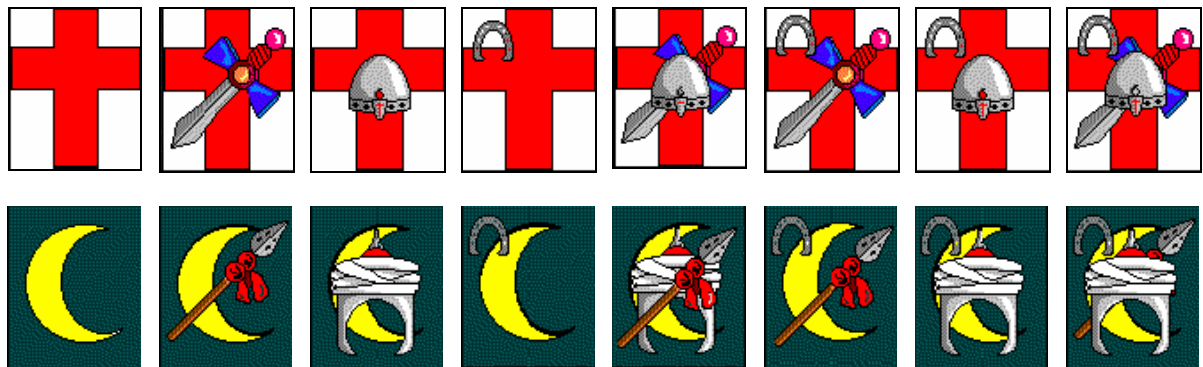


Imagen 3: Tipos de individuos del mundo de MyC

Además de para realizar la evaluación sintáctica y semántica de fórmulas lógicas, este programa nos puede ayudar a entender y practicar con otros conceptos lógicos: equivalencia de fórmulas, fórmulas complementarias, concepto semántico de deducción correcta, método del contraejemplo, ...

Programa II: **ADN : MÉTODOS DE DEMOSTRACIÓN**

- II.1. Descripción del ADN (Asistente para Deducción Natural)
- II.2. El lenguaje de la Lógica de Primer Orden
 - Alfabeto
 - Fórmulas bien formadas (fbf)
 - Restricciones sintácticas del ADN
 - Estructura sintáctica de las fbf
 - Errores sintácticos
- II.3. Introducción de fórmulas en el ADN
 - El editor de fórmulas
 - Introducción de símbolos
 - La pizarra
- II.4. Deducción Natural
 - Descripción
 - Reglas básicas
 - Justificación de la fórmula
 - Finalización de la deducción

- Borrado de fórmulas
- Errores de derivación

II.5. Estrategias de Derivación

- Niveles (subdeducciones)
- Supuestos dobles
- Aconsejador

El Asistente para *Deducción Natural* (ADN) (<http://www.dccia.ua.es/logica/ADN>) es una herramienta didáctica para el aprendizaje práctico de la lógica de primer orden. Este programa ha sido desarrollado en el departamento de *Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial* de la Universidad de Alicante, bajo la dirección del profesor Faraón Llorens Largo y programado por Sergio Mira Cabrera [Mira, 2000]. Se trata de un programa de apoyo dirigido fundamentalmente a los alumnos de las asignaturas relacionadas con la *lógica* impartidas desde el departamento, consistiendo en una herramienta didáctica que apoya al alumno que se inicia en la técnica de Deducción Natural a elaborar sus propias deducciones. Comprueba si la fórmula es sintácticamente correcta (*fbf*) y si se ha obtenido de forma adecuada (*reglas básicas*). Además, posee las siguientes herramientas de apoyo: visor de árboles sintácticos de las fórmulas, informe detallado de los errores, visor de reglas básicas, aconsejador y ayuda en línea. ADN puede ser ejecutado con cualquier navegador, ya que se trata de un applet escrito en Java.

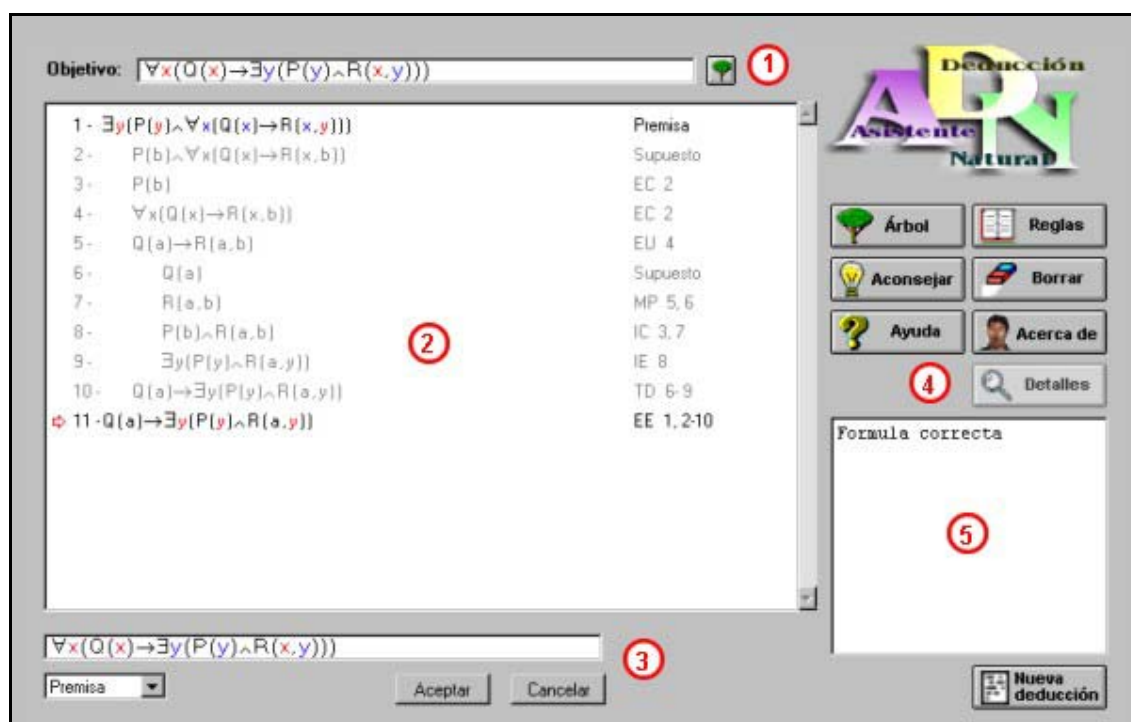


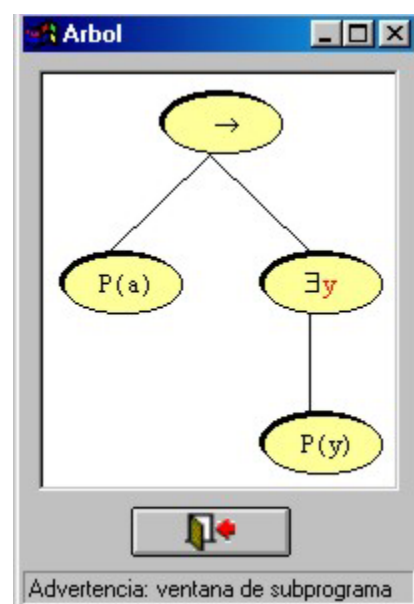
Imagen 4: Ventana principal del ADN

En la figura se muestra la pantalla principal del ADN y las partes en las que se divide la misma:

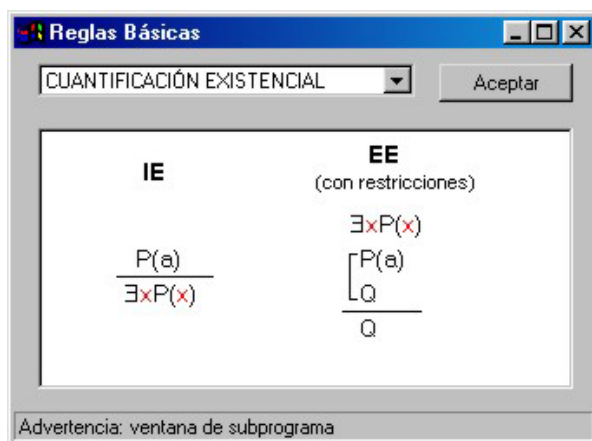
1. Editor de la fórmula objetivo: nos permite editar la fórmula que será el objetivo de la deducción.
2. Cuerpo de la deducción (*pizarra*): en esta zona se irán visualizando los pasos de la deducción. Se pueden observar tres partes (dispuestas en columnas y de izquierda a derecha):
 - a. Numeración de las líneas, para poder hacer referencia a ellas.

- b. Fórmulas lógicas que vamos obteniendo. Las sangrías indican que entramos en un nuevo supuesto (hacia la derecha) o que lo cancelamos (vuelta a la izquierda), configurando lo que llamaremos *subpruebas*.
 - c. Justificación de la fórmula obtenida mediante la aplicación de una regla básica a una o más fórmulas anteriores.
3. Editor de fórmulas: se utiliza para insertar nuevas fórmulas dentro de la deducción y decir de qué fórmulas han derivado las mismas.
4. Área de opciones del programa: aquí tenemos los botones que acceden a las diferentes funciones del asistente: Árbol, Aconsejar, Ayuda, Reglas, ...
5. Ventana de información: en esta área se muestra información al usuario.

ADN utiliza el alfabeto clásico de la Lógica de Primer Orden y la definición usual de fórmula bien formada (*fbf*). Representar la fórmula en forma de árbol etiquetado nos puede ayudar a ver claramente la estructura sintáctica de la misma. El árbol sintáctico de una fórmula lógica nos permite distinguir claramente cuál es el operador principal y las prioridades entre ellos. Esto nos ayudará en la posterior manipulación sintáctica cuando tengamos que aplicar las reglas de la deducción. Uno de los aspectos fundamentales de la lógica es que, además de un lenguaje de representación y formalización de conocimiento, nos proporciona unas técnicas de razonamiento o inferencia, que nos permiten obtener nuevo conocimiento a partir del que ya poseemos. Existen distintos métodos para ello. Nosotros vamos a trabajar con la Deducción Natural, sistema formal que a partir de unas premisas y con el único apoyo de unas reglas básicas, obtiene determinadas conclusiones. Así, si asumimos las premisas y cada paso elemental que damos lo justificamos con una regla básica, iremos obteniendo nuevas fórmulas lógicas que podemos asumir como conclusiones derivadas de las premisas. Todas las fórmulas lógicas que vamos introduciendo son visualizadas en la parte central de la ventana de ADN, que llamaremos *pizarra*.



Para determinar las *reglas básicas* de la Deducción Natural nos basaremos en el cálculo de



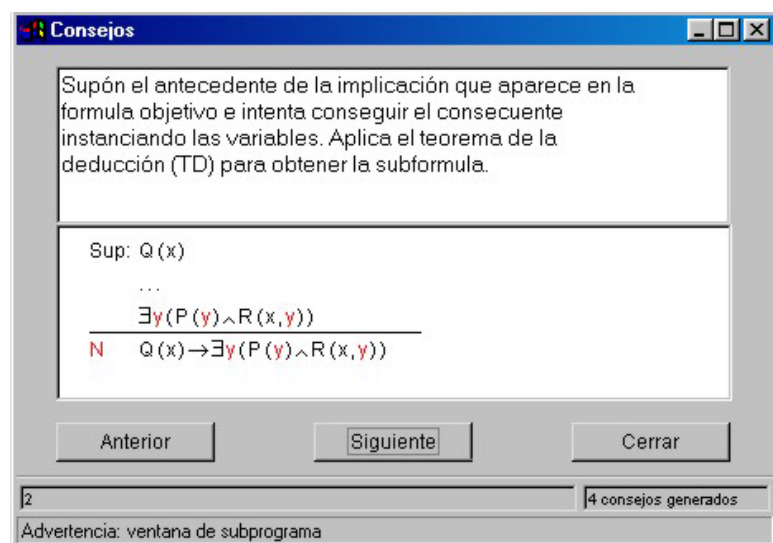
Gentzen que propone dos reglas (una de introducción y otra de eliminación) para cada símbolo lógico (conectivas y cuantificadores). Si la regla básica introduce en su conclusión una conectiva o cuantificador que no aparece en sus premisas será una regla de introducción; si elimina de su conclusión una conectiva o cuantificador que aparece en sus premisas será una regla de eliminación. Se intuye que si

disponemos de procedimientos para añadir o quitar los distintos símbolos lógicos,

podremos transformar por pura manipulación sintáctica las premisas en la conclusión. Así, aplicando un punto de vista de ingeniería, se trataría de desmontar las fórmulas lógicas que tenemos como premisas hasta obtener sus componentes básicas (fórmulas atómicas) y volver a montarlas en la configuración adecuada (fórmula lógica que queremos obtener como conclusión). Las reglas serían los instrumentos que nos permitirían montar y desmontar dichas fórmulas lógicas. En la ventana de reglas básicas visualizamos las reglas de introducción y eliminación correspondiente al operador lógico que esté seleccionado en la lista superior.

Tendremos una deducción correcta cuando consigamos una secuencia finita de fórmulas, donde cada una de las fórmulas ha sido obtenida mediante la aplicación de alguna regla de inferencia. En ADN, cada línea de nuestra deducción (y por tanto la fórmula lógica escrita en ella) estará justificada por la aplicación de una regla básica a alguna o algunas líneas anteriores. Dicha justificación aparece en la columna de la derecha. Por ejemplo, la justificación *EE 1,2-10* significa que esa fórmula la hemos obtenido porque tenemos una fórmula cuantificada existencialmente en la línea 1, suponemos en la línea 2 que un individuo genérico del dominio cumple dicha fórmula y llegamos en la línea 10 a una conclusión que no depende de la elección, por lo que podemos concluir la fórmula de dicha línea.

Otro de los aspectos cruciales de la deducción natural es el de las *subpruebas* (subdeducciones o subderivaciones). En cualquier paso de nuestra deducción podemos introducir un *supuesto provisional*, que debe ser cancelado en alguna línea posterior. Desde el supuesto hasta la cancelación tendremos una subdeducción. Así, en nuestras deducciones tendremos fórmulas a distintos niveles, que visualizaremos gráficamente mediante una sangría a la derecha. Los supuestos provisionales son una herramienta muy potente ya que nos permiten suponer lo que nosotros queramos. Pero debemos pagar un alto precio por ello: para poder finalizar una demostración deberemos haber cancelado todos los supuestos que hayamos hecho. Por tanto, la cancelación de supuestos provisionales se convierte en una pieza clave de las deducciones naturales. Cuando un supuesto es cancelado, sangramos a la izquierda y sombreamos en gris las fórmulas interiores de la subdeducción. Dichas fórmulas interiores serán inaccesibles a partir de este momento. La utilización de subdeducciones nos permite “modularizar” nuestras deducciones, planteándonos subobjetivos más sencillos que el objetivo final, y que en su conjunto nos lleven a la conclusión que buscamos.



El ADN dispone de una herramienta muy útil a la hora de realizar una deducción. Está herramienta es el *Aconsejador*. El aconsejador analiza las fórmulas de la deducción e intenta guiarnos hacia el objetivo o decirnos qué reglas podemos aplicar. No nos llevará siempre a la solución, ya que la deducción natural en lógica de primer orden no es un problema decidible,

simplemente es un apoyo. En cualquier momento podemos poner en marcha el aconsejador, y se puede dejar visible durante toda la deducción, con lo que se irá actualizando conforme añadamos o eliminemos fórmulas. En la parte superior de la ventana se muestra una sugerencia de lo que podemos hacer y justo debajo da una pista gráfica con las fórmulas que tenemos en la deducción. Podemos navegar entre todos los consejos generados mediante los botones de Anterior y Siguiente. En la barra de estado del aconsejador podemos ver cuantos consejos se han generado (a la derecha) y cuál estamos visualizando actualmente (a la izquierda). El ADN muestra consejos generados de arriba-abajo (basados en las premisas y fórmulas previas) así como consejos generados de abajo-arriba (basados en la conclusión).

En la siguiente figura podemos ver un ejemplo de deducción natural realizado mediante el ADN:

$$\forall x P(x) \vee \forall x Q(x) \Rightarrow \forall x (P(x) \vee Q(x))$$

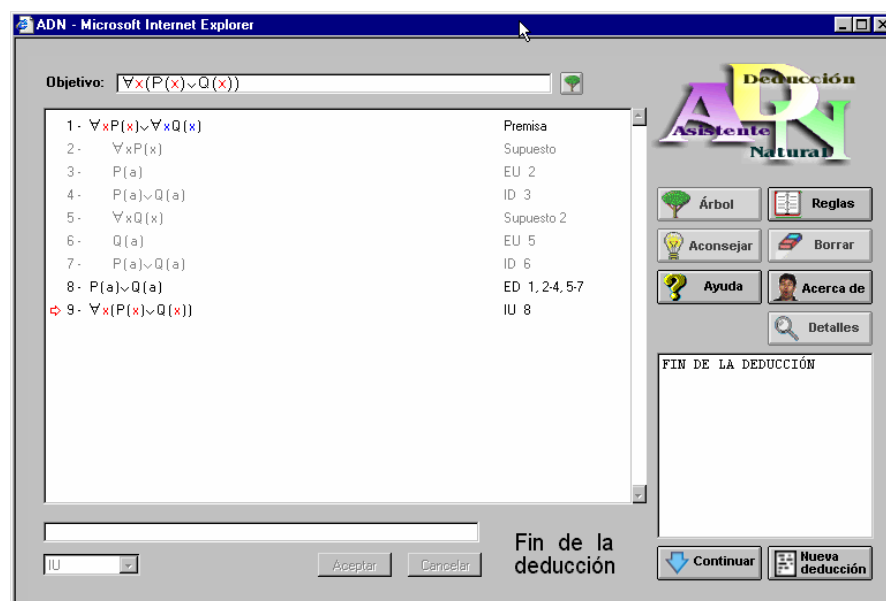


Imagen 5: Ejemplo en ADN

Programa III: **PROLOG : PROGRAMACIÓN LÓGICA**

III.1. Introducción

- Sistemas Prolog
- Entorno de Trabajo

III.2. Prolog y el Lenguaje de la Lógica de Primer Orden

- Predicados
- Términos
- Conectivas Lógicas

III.3. Estructura de un Programa

- Base de Conocimiento: Hechos y Reglas
- Preguntas
- Consulta de Programas

III.4. Sintaxis

- Caracteres
- Estructuras
- Operadores

III.5. Estructuras de Datos

- Árboles
- Listas

III.6. Estructuras de Control

- Recursión
- Unificación
- Reevaluación
- El Corte
- Predicados de Control

III.7. Programación en Prolog

- Depuración de Programas
- Estilo de Programación en Prolog

III.8. Ejemplos

La herramienta práctica III es el lenguaje de programación lógica *Prolog* (<http://www.dccia.ua.es/logica/prolog>). El Prolog utilizado, tanto la sintaxis como los operadores básicos, siguen el estándar de Edimburgo [Clocksin y Mellish, 1987] así como las especificaciones ISO [Covington, 1993] y [Deransart, Ed-Dbali, y Cervoni, 1996]. Se trata de dar a los estudiantes una breve exposición de las características principales y de los predicados predefinidos estándar del lenguaje Prolog, no de una completa descripción de la sintaxis y la semántica de Prolog ni de la forma de programar en dicho lenguaje. No se pretende explorar toda la potencia del lenguaje de programación lógica Prolog. Simplemente mostrar a los estudiantes cómo pueden escribir programas (bases de conocimientos) con el lenguaje de la lógica, por medio de hechos y reglas. Posteriormente podemos ejecutar estos programas realizando preguntas que el sistema nos responderá a partir de la información que conoce. Es decir, no vamos a estudiar Prolog desde el punto de vista de un lenguaje de programación, sino como una aplicación directa de la lógica de primer orden. Por todo ello, únicamente vamos a describir y utilizar un pequeño subconjunto de predicados predefinidos, en especial aquellos con marcado carácter lógico, que no interfieren en el control. En cada sesión el estudiante realiza pequeños ejercicios que se le van planteando y que al final conformarán una *Base de Conocimientos* que recopila información sobre un dominio (problema) dado.

```
SWI-Prolog -- d:/Intercambio/Logica/Practicas/Practica2.pl
File Edit Settings Run Debug Help

Problema "El lobo, la cabra y la col" cargado.

Para ejecutarlo realiza la pregunta

?- iniciar(Solucion).

% d:/Intercambio/Logica/Practicas/Practica2.pl compiled 0.00 sec, 5,712 bytes
Welcome to SWI-Prolog (Version 5.0.10)
Copyright (c) 1990-2002 University of Amsterdam.
SWI-Prolog comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY. This is free software,
and you are welcome to redistribute it under certain conditions.
Please visit http://www.swi-prolog.org for details.

For help, use ?- help(Topic). or ?- apropos(Word).
?- iniciar(Solucion).

Solucion = [[cabra, --->], [vacia, <---], [lobo, --->], [cabra, <---], [col, --->], [vacia, <---], [cabra, --->]] ;

Solucion = [[cabra, --->], [vacia, <---], [col, --->], [cabra, <---], [lobo, --->], [vacia, <---], [cabra, --->]] ;

No
?-
```

Imagen 6: Ventana principal de SWI-Prolog

Todos los ejemplos han sido probados utilizando SWI-Prolog [Wielemaker, 2001], que es el interprete/compilador utilizado en las clases prácticas (<http://www.swi-prolog.org>). SWI-Prolog es un compilador Prolog de Dominio Público, diseñado e implementado por Jan Wielemaker, del departamento Social Science Informatics (SWI) de la Universidad de Amsterdam. La plataforma original sobre la que se desarrolló fue para Unix, aunque en la actualidad podemos encontrar versiones para Linux y para PC que se ejecutan bajo el entorno Windows. Es potente y flexible (permite integración con C), y tiene las ventajas de que, de momento, se mantiene actualizado y se ejecuta sobre un entorno gráfico agradable para el usuario. Posee un sistema de ayuda en línea. A partir de la versión 4 incorpora un sistema GUI (“Graphical User Interface”) que nos permite, entre otras cosas, tener un frontal gráfico para la depuración. También incorpora el editor PCE Emacs, que reconoce la sintaxis de colores para Prolog y dispone de un navegador Prolog.

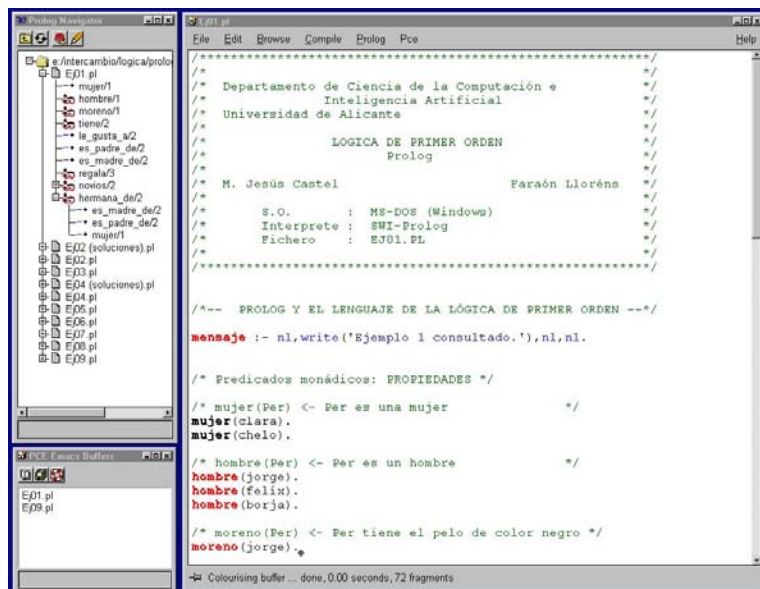


Imagen 7: Entorno de edición SWI-Prolog

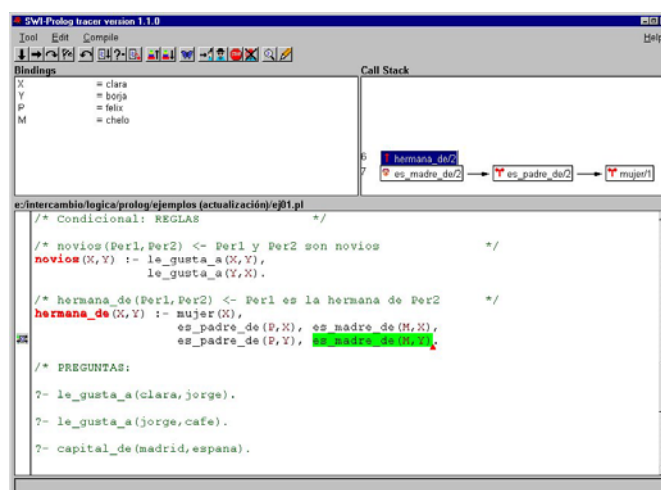


Imagen 8: Entorno depuración SWI-Prolog

4.3. PLANIFICACIÓN

En este apartado presento la asignación temporal de los contenidos propuestos en el apartado de estructura así como los criterios de evaluación que se aplicarán. Atendiendo a la asignación de créditos del plan de estudios, a la equivalencia en horas de dichos créditos y a que se trata de una asignatura cuatrimestral, tenemos que distribuir el contenido en 30 sesiones:

Teoría:	15 sesiones de 2 horas (semanales)
Prácticas:	15 sesiones de 2 horas (semanales)

4.3.1. Sesiones

Se distribuyen los contenidos descritos en el apartado anterior en 30 sesiones: 15 a desarrollar en aula y grupos grandes y 15 a desarrollar en el laboratorio de ordenadores y grupos pequeños. No equivale exactamente al contenido teórico y práctico, así en las sesiones prácticas sólo se ve prolog, aunque el contenido práctico tiene más herramientas. Las otras dos herramientas se les describirán en una única sesión práctica y se les proporcionarán los programas para que los utilicen por su cuenta para reforzar los contenidos de teoría haciendo con ellos los ejercicios propuestos en clase.

Semana	Teoría	Prácticas
1	Presentación de la asignatura Evolución histórica de la Lógica	Presentación de prácticas y organización de grupos
2	El Lenguaje de Proposiciones	Sitio web de la asignatura
3	El Lenguaje de Predicados	Entorno de trabajo y sistema SWI-Prolog
4	Semántica de Proposiciones	Prolog y el Lenguaje de la Lógica de Primer Orden
5	Semántica de Predicados	Descripción y uso del programa <i>MyC</i>
6	Ejercicios de evaluación sintáctica y semántica con <i>MyC</i>	Declaración de hechos
7	Deducción Natural sin Cuantificación	Declaración de reglas
8	Deducción Natural con Cuantificación	Descripción y uso del programa <i>ADN</i>
9	Estrategias y Reglas Derivadas Ejercicios con <i>ADN</i>	Operadores aritméticos y relacionales
10	Metalógica	Obtención de respuestas alternativas
11	Formas Normales del Cálculo de Proposiciones. Métodos de Demostración basados en estas Formas Normales	Listas

Semana	Teoría	Prácticas
12	Formas Normales del Cálculo de Predicados. Forma Clausal	Manejo de listas y Recursividad (I)
13	Bases Teóricas de la Demostración Automática	Manejo de listas y Recursividad (II)
14	Método de Refutación por Regla de Resolución con Unificación	Depuración de programas
15	Programación Lógica Visión global de la asignatura	Entrega y corrección

4.3.2. Criterios de Evaluación

A lo largo del curso el estudiante podrá ir realizándose autoevaluaciones mediante los cuestionarios “online” (en formato web) y los ejercicios con soluciones (en formato pdf), todo ello disponible desde el sitio web de la asignatura. Para la obtención de la calificación final del estudiante se aplicarán, con carácter general, los siguientes criterios. Complementariamente, los estudiantes podrán realizar propuestas alternativas, que entrarán en vigor una vez firmado un contrato-programa entre el estudiante y el profesor.



Nota de la Parte Teórica : NT

A lo largo del curso se irán evaluando los problemas que se proponen periódicamente a los alumnos Prob

Al finalizar el cuatrimestre, se realizará una prueba escrita, que consistirá en unas cuestiones cortas tipo “test” (3 puntos) y ejercicios (7 puntos)..... Exam

$$NT = 0'2 \times \text{Prob} + 0'8 \times \text{Exam}$$



Nota de la Parte Práctica : NP

Evaluación continua. Las prácticas tendrán un seguimiento a lo largo del curso, debiendo el alumno llevar un cuaderno y un disquete de prácticas donde vaya anotando y almacenando todo el trabajo que realice en las horas dedicadas en el laboratorio:

Ejercicios *MyC* P1

Ejercicios *ADN* P2

Base de Conocimiento *Prolog* P3

$$NT = 0'2 \times P1 + 0'2 \times P2 + 0'6 \times P3$$



Nota de los Trabajos y Actividades Complementarias : TC

Los trabajos y actividades complementarias, con carácter voluntario, serán valorados hasta un máximo de 2 puntos, y para ello se entregarán informes. TC

➤ **Nota Global :**NG

$$NG = 0'6 \times NT + 0'4 \times NP + TC$$

sii NP, NT ≥ 5

4.4. REFERENCIAS DOCUMENTALES

La información bibliográfica se puede presentar en multitud de formatos, tanto impresos como electrónicos: libros, revistas científicas y técnicas, actas de congresos, informes técnicos, etc. El mejor lugar para empezar la búsqueda bibliográfica es la Biblioteca de la Universidad. Aunque en los últimos tiempos Internet se ha convertido en una valiosa fuente de información, debemos ser cautos al hacer uso de la información recogida en la red, ya que podemos encontrar tanto información de gran valor como información poco fiable. Se ha definido a la búsqueda bibliográfica como la “recopilación sistemática de la información publicada relacionada con un tema”. Destacar de esta definición los términos *sistemática* (desde una perspectiva estructurada y profesional y no leer todo lo que caiga en nuestras manos) y *publicada* (reconocida y revisada por expertos). Hay que ser selectivo y centrarse en las referencias documentales adecuadas y relevantes para nuestro trabajo. A continuación presento los libros de texto sobre lógica que más me gustan y que pueden servir de ayuda a los estudiantes. Todos ellos se encuentran disponibles en la Biblioteca de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante. Los he separado en dos niveles, bibliografía básica y bibliografía complementaria.

4.4.1. Bibliografía Básica

[Barwise y Etchemendy, 2000]

Language, Proof and Logic

Jon Barwise y John Etchemendy

En colaboración con Gerard Allwein, Dave Barker-Plummer y Albert Liu

Seven Bridges Press y CSLI Publications, 2000

Consiste en un libro de texto y un paquete de software completo que proporciona una introducción autocontenida a los conceptos básicos de la lógica: lenguaje, verdad, argumento, consecuencia, prueba y contraejemplo. El texto no asume conocimientos previos sobre lógica y puede servir para un curso introductorio y un segundo curso sobre lógica. El libro presenta una nueva aproximación a la enseñanza de la Lógica de Primer Orden que tiene sus precedentes en los libros “The Language of First Order Logic” y “Hyperproof”, que partiendo de las ventajas que nos proporcionan los programas que vienen en el CD-ROM que acompaña al libro (Tarski’s World, Fitch, Boole y Submit) se trabajan los distintos conceptos de la lógica. Su gran interés radica en que los estudiantes aprenden mejor lógica a través de los problemas, y la mejor manera de aprender un lenguaje es utilizándolo directamente: *Tarski’s World* proporciona un entorno de manera que podemos utilizar y practicar el lenguaje de la lógica de primer orden de la

misma manera que usamos el lenguaje natural; *Fitch* ayuda a los estudiantes a construir pruebas usando el estilo de deducción natural, comprobando la demostración, respondiendo si es correcta y si no lo es indicando los pasos erróneos; *Boole* permite construir tablas de verdad; *Submit* permite entregar los ejercicios accediendo al “Grade Grinder”, un servicio de corrección de ejercicios a través de internet.

[Clocksin y Mellish, 1987]

Programación en Prolog

W. F. Clocksin y C. S. Mellish

Ed. Gustavo Gili. 1987

Desde la primera publicación del libro original *Programming in Prolog* en 1981, Prolog ha experimentado un inesperado auge en el mundo de la informática. Este libro de texto se ha convertido en un clásico de Prolog y en un libro de obligada referencia al tratar el tema de la programación en Prolog. Se ha etiquetado al Prolog descrito en este libro como el estándar de Edimburgo. Los autores se centran en la enseñanza del núcleo de Prolog, ajustándose todos los ejemplos a este estándar, ejemplos que funcionarán sobre la mayor parte de las implementaciones reales de Prolog.

[Garrido, 1991]

Lógica Simbólica

Manuel Garrido

Editorial Tecnos, 2ª ed. 1991

Este libro es una introducción a la lógica simbólica para personas de formación humanística. Su objetivo es facilitar a lectores que carezcan de base matemática y científica, sin ayuda de profesor, un dominio de las técnicas modernas de deducción lógica y la comprensión de las principales nociones teóricas que sirven de fundamento a la metodología de las ciencias deductivas. Es muy interesante por su tratamiento preferente de los cálculos deductivos, y en particular de la Deducción Natural basada en las reglas de Gentzen, por el valor pedagógico que otorga a dichos métodos su proximidad al razonamiento informal y su vinculación al significado intuitivo de las partículas lógicas. En cuanto a su estructura, contiene un capítulo introductorio (cap. I), una parte para la formalización del lenguaje (cap. II-III), y otras para cálculos deductivos (cap. IV-X), semántica (cap. XI-XIII), el método axiomático (cap. XIV) y metalógica (cap. XV). También contiene anexos dedicados a la computación lógica.

[Giannesini, Kanoui, Pasero, y van Caneghem, 1989]

Prolog

Françis Giannesini, Henry Kanoui, Robert Pasero y Michel van Caneghem

Addison-Wesley Iberoamericana, 1989

Prolog (PROgramming in LOGic) fue desarrollado en 1972 por Alain Colmerauer y otros miembros del Grupo de Inteligencia Artificial de Marsella. Este libro reúne la experiencia del grupo de Marsella en la implantación y enseñanza de Prolog. El prefacio es de Alain Colmerauer y la traducción de José Cuenca y Ana Mª García de la Universidad Politécnica de Madrid. Es un libro con abundantes ejemplos, ejercicios y problemas (con soluciones). Como dicen los autores en la introducción, “este lenguaje es, a la vez, fácil y difícil”: en poco tiempo se pueden escribir

programas con resultados espectaculares, pero elaborar programas complejos requiere un dominio conceptual del lenguaje laborioso de adquirir. Este libro puede contribuir como guía, ya que en un lenguaje muy claro transmite la experiencia de los autores en la *buena* programación en Prolog. La primera parte del libro presenta los conceptos y mecanismos básicos de la programación en Prolog, refinando gradualmente un programa, mostrando así los principios de un buen estilo de programación lógica. La segunda parte del texto se dedica a las principales aplicaciones de Prolog: escritura de compiladores, comprensión de lenguajes naturales, bases de datos y sistemas expertos.

[Llorens y Castel, 1998]

Lògica de Primer Ordre (Col.lecció Joan Fuster nº 5)

Faraón Llorens y M^a Jesús Castel

Secretariat de Normalització Lingüística, Universitat d' Alacant, 1998

[Llorens y Castel, 1999]

Lógica de Primer Orden

Faraón Llorens y M^a Jesús Castel

Dpto. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, Univ. de Alicante, 1999

Libro surgido de los apuntes de la asignatura *Lógica de Primer Orden* para los estudios de Ingeniería Informática impartidos en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante. Escrito por los profesores de dicha asignatura, no pretende ser un estudio exhaustivo y excesivamente formal de la Lógica de Primer Orden, si no más bien se le ha querido dotar de un carácter didáctico y, en lo posible, ameno, y sobre todo se han resaltado aquellos aspectos de la Lógica que puedan ser interesantes desde el punto de vista de la Informática, y que puedan servir de base para otras materias de la carrera. Por ello, se ha estado más interesado en mostrar la utilidad y aplicación de la lógica que en la formalización matemática de la misma, evitando las largas demostraciones de teoremas. El libro está estructurado, al igual que la asignatura, en 9 capítulos (para una descripción breve de cada uno de ellos remitimos al correspondiente apartado de esta programación) y un anexo de Prolog.

[Reeves y Clarke, 1993]

Logic for Computer Science

Steve Reeves y Michael Clarke

Ed. Addison-Wesley, 1990

Este libro esta escrito dirigido a estudiantes de informática y la mayoría del material ha sido experimentado por los autores en cursos iniciales de Informática. El objetivo básico es proporcionar una base lógica necesaria para razonar acerca de los programas de ordenadores y de como aplicar la lógica a campos como la Inteligencia Artificial. Según los autores, la actividad de construir y razonar sobre programas no difiere de la actividad de construir y razonar sobre demostraciones. La estructura del libro es la habitual, con un capítulo introductorio, uno dedicado al cálculo de proposiciones, otro al cálculo de predicados y uno a la deducción natural. Destacar la presencia de un capítulo dedicado a las tablas semánticas ("Semantic Tableaux"). A lo largo del libro se muestran ejemplos y programas en Prolog que ayudan a afianzar los conceptos y a comprender mejor los algoritmos. Aparte de estos conceptos básicos de la lógica de primer orden, incluye un capítulo sobre programación lógica y otro dedicado a lógicas no clásicas (modal e

intuicionista). Los autores intentan mostrar como la lógica y la informática pueden interactuar y beneficiarse mutuamente: la informática sugiere nuevas ideas para el análisis lógico, y estas herramientas lógicas permiten a la informática desarrollos futuros.

[Tymoczko y Henle, 2002]

Razón, dulce razón. Una guía de campo de la lógica moderna

Tom Tymoczko y Jim Henle

Editorial Ariel, 2002

En palabras del prólogo del libro, *Razón, dulce razón* es un libro que no sólo muestra la lógica sino que ayuda a redescubrir la repensándola; que guía al lector para que se la haga suya. Es un texto que nos pone en contacto tanto con las formas del razonamiento deductivo como con las del razonamiento inductivo; con los argumentos precisos y con los imprecisos, así como con los probables; con la perplejidad en que nos sitúan las paradojas, y con la argumentación informal para defender o atacar opiniones y conjeturas. Si algo destaca de este libro es su estilo particular y su lenguaje sencillo y claro. Es un libro de introducción a la lógica, describiendo claramente los fundamentos básicos de la lógica formal e informal. Pero todo ello enriquecido por situaciones del mundo real, desde rompecabezas, paradojas, demostraciones matemáticas, debates, reglamentaciones gubernamentales y tebeos.

4.4.2. Bibliografía Complementaria

[Arenas, 1996]

Lógica Formal para Informáticos

Lourdes Arenas Alegrías

Ediciones Díaz de Santos, Madrid 1996

El libro consta de tres partes. La primera trata del estudio de la Lógica Formal a nivel básico, es decir, el Cálculo de Proposiciones, desde la simplicidad en la formalización del lenguaje hasta los métodos de demostración, la teoría de los sistemas formales y las propiedades de los mismos. Una segunda parte que desarrolla el Cálculo de Predicados de Primer Orden, con el consiguiente aumento de complejidad tanto en la construcción del lenguaje, como en los métodos de demostración; también se analizan sus propiedades. Finaliza la obra con una tercera parte dedicada a la Demostración Automática de Teoremas, cuyo objetivo es preparar el camino para abordar el estudio posterior de otros temas del área de Inteligencia Artificial. Destacar el apéndice, que contiene las soluciones a los ejercicios propuestos a lo largo del libro. Es un libro recomendable para el alumno ya que está diseñado como libro de texto para la asignatura *Lógica Formal* de primer curso de Ingeniería Informática de la Universidad de Deusto.

[Barwise y Etchemendy, 1992]

The Language of First Order Logic

Incluye la versión windows de *Tarki's World 4.0*

Jon Barwise y John Etchemendy

CSLI Lecture Notes n° 34, third ed. CSLI Publications. Stanford Univ. 1992

El libro presenta una nueva aproximación a la enseñanza de la Lógica de Primer Orden. Partiendo de la ventaja que nos proporciona el programa *Tarki's World*, el libro trabaja tanto el aspecto semántico de la lógica como los métodos de prueba. El texto contiene once capítulos, organizados en cuatro partes: la parte I trata la lógica proposicional; la parte II la lógica cuantificada; la parte III contiene capítulos sobre la teoría de conjuntos y las definiciones inductivas; y la parte IV incluye temas avanzados en lógica. Una característica destacable es que contiene gran cantidad de ejercicios, algunos que se realizan sobre el programa *Tarki's World* y otros no. Su gran interés radica en que los estudiantes aprenden mejor lógica a través de los problemas, y la mejor manera de aprender un lenguaje es utilizándolo directamente. *Tarki's World* proporciona un entorno de manera que podemos utilizar y practicar el lenguaje de la lógica de primer orden de la misma manera que usamos el lenguaje natural.

[Barwise y Etchemendy, 1994]

Hyperproof

Jon Barwise y John Etchemendy

CSLI lecture notes n° 42, CSLI Publications, Stanford, California, 1994

Hyperproof es un sistema para aprender los principios básicos del razonamiento analítico y la construcción de demostraciones, que consiste en un texto y un programa de ordenador. Combina información en forma de sentencias e información gráfica, presentando un conjunto de reglas lógicas para integrar estas diferentes formas de información. *Hyperproof* ayuda a los estudiantes a construir pruebas usando un intuitivo sistema que extiende el conjunto estándar de reglas al incorporar información representada gráficamente, y que permite centralizar su esfuerzo en la tarea de razonar, y no en la estructura sintáctica de las sentencias.

[Burke y Foxley, 1996]

Logic and its Applications

Edmund Burke y Eric Foxley

Prentice Hall International series in Computer Science, 1996

Libro de introducción a la lógica matemática y a sus aplicaciones en el campo de la informática. Cubre tanto aspectos del Cálculo de Proposiciones (1. Lógica Proposicional, 2. Aproximación Formal a la Lógica Proposicional) y del Cálculo de Predicados (4. Lógica de Predicados) como de sus aplicaciones en computación (3. Aplicaciones al Diseño Lógico, 5. Programación Lógica y 6. Especificación de Sistemas Formales). Contiene gran cantidad de ejercicios y ejemplos.

[Cuenca, 1985]

Lógica Informática

José Cuenca

Alianza Editorial, 1985

Este texto ofrece a los estudiantes y profesionales de la informática una exposición de las teorías lógicas y de sus aplicaciones a la programación y al campo de la

inteligencia artificial. Los capítulos iniciales del libro exponen las teorías matemáticas del cálculo proposicional (cap. 1 al 4) y del cálculo de predicados (cap. 5 al 7), en su enfoque tanto axiomático como semántico. Les sigue un capítulo de introducción a la lógica modal (cap. 8). Los capítulos siguientes (cap. 9 al 13) están dedicados a la verificación de programas procedimentales, las técnicas de deducción automática y su aplicación a la programación lógica. Finalmente se estudian algunas aplicaciones: la planificación automática de robots (cap. 14) y el razonamiento aproximado en sistemas expertos (cap. 15). Su gran ventaja es que está concebido para ser explicado en dos cursos para estudiantes de Informática, con lo que la primera parte del libro se adaptaría a la asignatura aquí tratada.

[Deaño, 1992]

Introducción a la Lógica Formal

Alfredo Deaño

Alianza Universidad Textos, 1992

Libro que ofrece los fundamentos de la Lógica, que sin ceder en el rigor técnico de los planteamientos y desarrollos, presta una especial atención a las finalidades propiamente didácticas. Aunque preferentemente dirigido a los estudiantes de filosofía, el volumen puede ser leído sin mayor dificultad por todos aquellos que deseen introducirse en el mundo de la lógica. El libro se estructura en cuatro capítulos: un primer capítulo dedicado a los *Primeros conceptos*, un segundo para la *Lógica de enunciados*, el tercero trata de *La lógica de predicados de primer orden*, y el cuarto capítulo, *Más allá de este libro*, ofrece un completo panorama de los más recientes desarrollos de la lógicas no clásicas, así como cuestiones metalógicas y problemas filosóficos. Contiene además un apéndice con ejercicios resueltos sobre deducción.

[Dodd, 1990]

Prolog. A Logical Approach

Tony Dodd

Oxford University Press, 1990

El objetivo de la programación lógica es ofrecer un formalismo de alto nivel para representar la solución a un problema dado: la lógica. Este libro empieza con una explicación de cómo la lógica puede ser usada como un lenguaje de programación y las restricciones a las que debe atenderse, para continuar con el lenguaje Prolog. La segunda parte describe las principales características y utilidades que suelen proporcionar los sistemas Prolog. La tercera parte muestra como diseñar y escribir programas lógicos en un estilo adecuado y según los principios de la programación lógica. Trata también temas de eficiencia y depuración de programas lógicos. Incluye gran cantidad de ejemplos y ejercicios, así como la solución de estos al final del libro.

[Grassmann y Tremblay, 1997]

Matemática Discreta y Lógica. Una perspectiva desde la Ciencia de la Computación

Winfried Karl Grassmann y Jean-Paul Tremblay

Ed. Prentice-Hall, 1997

La *matemática discreta* proporciona los fundamentos teóricos apropiados para el estudio de la computación: Lógica, Conjuntos, Relaciones, Funciones y Grafos. Todos estos temas son tratados en este libro, siempre, tal como refleja el título,

desde una perspectiva de la informática. En particular expone de forma completa el razonamiento lógico y la manera de razonar de forma sistemática acerca de los programas. También incluye un capítulo en el que describe el lenguaje de programación lógica Prolog. El libro contiene multitud de ejemplos que relacionan los conceptos matemáticos con temas de computación, así como gran cantidad de problemas con soluciones de algunos de ellos. Se trata de un libro de texto orientado a los estudiantes con un marcado espíritu didáctico, en el que se ha buscado siempre la claridad en la exposición.

[Hofstadter, 1998b]

Gödel, Escher, Bach. Un Eterno y Grácil Bucle

Douglas R. Hofstadter

Metatemas 14, sexta edición, Tusquets editores, 1998

Libro de lectura obligada para cualquier estudiante y estudioso de la Ciencia de la Computación. De forma amena y envolvente, Hofstadter intenta responder a la pregunta de si *¿puede un sistema comprenderse a sí mismo?* Como se dice en la contraportada del libro, “todo lenguaje, todo sistema formal, todo programa de ordenador, todo proceso de pensamiento, llega tarde o temprano, a la situación límite de la autorreferencia”. Se trata de un libro divertido, fascinante, que trata de conceptos abstractos difíciles de entender, pero que con la lectura de esta obra se convierten en ideas sencillas. Traza paralelismos entre los grabados de Escher, la música de Bach y el teorema de Gödel. Hofstadter recibió el *Premio Pulitzer* en 1980 por este libro.

[Kelly, 1997]

The essence of LOGIC

John Kelly

Serie Essence of Computing, Editorial Prentice Hall, 1997

Este libro forma parte de la serie *essence of computing*, cuyo objetivo es proporcionar a los estudiantes de Informática temas básicos en distintos aspectos fundamentales. Este libro en concreto, ofrece una aproximación a la lógica formal, abordando también la aplicación de dichas técnicas lógicas a la computación. Aborda tanto el Cálculo de Proposiciones (1. Tablas de Verdad, 2. Tableros Semánticos, 3. Deducción Natural, 4. Lógica Proposicional Axiomática, 5. Resolución en Lógica Proposicional) como el Cálculo de Predicados (6. Introducción a la Lógica de Predicados, 7. Una Aproximación Axiomática a la Lógica de Predicados, 8. Tableros Semánticos en Lógica de Predicados, 9. Resolución en Lógica de Predicados). Contiene numerosos ejercicios y ejemplos, así como soluciones a algunos de ellos al final del libro.

[Mosterín, 2000]

Los Lógicos

Jesús Mosterín

Espasa Calpe, 2000

Original introducción a varios temas fundamentales de la lógica, la teoría de conjuntos, la teoría de la computación y la filosofía de la matemática a través de las vidas fascinantes y extremas de seis pensadores geniales y atormentados: Gottlob Frege, Georg Cantor, Bertrand Russell, John von Neumann, Kurt Gödel y Alan Turing. Sus fracasos vitales contrastan con sus éxitos intelectuales, que todavía iluminan el pensamiento de nuestro tiempo e incluso el desarrollo tecnológico del

mundo computerizado en que vivimos. Libro de lectura agradable, que combina biografía y lógica, anécdotas y conceptos, contexto histórico y desarrollo abstracto.

[Nerode y Shore, 1997]

Logic for Applications

Anil Nerode y Richard A. Shore

Springer-Verlag, Second edition, 1997

Este libro de texto, dirigido tanto a estudiantes de matemáticas como de informática, proporciona una primera introducción a la lógica matemática, enfocada primordialmente a la aplicación de la lógica a la informática. Se enfatiza la noción de deducción como una forma de computación. Además de los conceptos tradicionales de la lógica (sintaxis y semántica), este libro incluye aspectos más específicos tales como la demostración automática de teoremas, la programación lógica y las lógicas no clásicas (modal e intuicionista). Contiene ejercicios al final de cada sección y problemas a resolver en Prolog. El libro se estructura en un primer capítulo dedicado a la Lógica Proposicional, el segundo a la Lógica de Predicados, un tercer capítulo sobre Prolog y el cuarto y quinto sobre Lógica Modal e Intuicionista, respectivamente. Finaliza con un apéndice sobre la historia de la lógica. También incluye una extensa bibliografía sobre el tema.

[Carroll, 1988]

El juego de la Lógica

[Gardner, 1989]

¡Ajá! Paradojas. Paradojas que hacen pensar

[Paulos, 1994]

Pienso, luego río

[Smullyan, 1991]

Alicia en el País de las Adivinanzas

Se trata de *pequeños* libros escritos por *grandes* autores, con un claro carácter lúdico y recreativo pero que son mucho más que simples amenidades, y que pueden llevarnos hasta nociones muy profundas. Como dice Martin Gardner la virtud está en encontrar el equilibrio entre el juego y la seriedad: el juego mantendrá interesados a nuestros alumnos y alumnas, y motivará su discusión más allá de las paredes del aula; la seriedad convertirá nuestras clases en algo útil y provechoso. Estos libros están llenos de anécdotas, historias, chistes, parábolas, acertijos, adivinanzas, pasatiempos, paradojas, ... relacionados de un modo u otro con distintos problemas lógicos. Si se entiende el chiste se entenderá el argumento implícito. Se han referenciado únicamente cuatro como muestra de cuatro autores (Lewis Carroll, Martin Gardner, John Alen Paulos y Raymond Smullyan) pero cada uno de ellos tiene otros libros similares igual de interesantes.

CAPÍTULO 5

RAZONAMIENTO

Hay ensayos más radicales, que desisten por completo de preocuparse por la completitud o la coherencia y tratan de reproducir el razonamiento humano, con todas sus incoherencias.

Estas búsquedas ya no tienen por meta aportar un sólido apuntalamiento a la matemática, sino exclusivamente estudiar los procesos del pensamiento humano.

Douglas R. Hofstadter, *Gödel, Escher, Bach. Un Eterno y Grácil Bucle*

Se aborda en este capítulo la programación docente de la asignatura *Razonamiento* considerando las siguientes características que de alguna manera condicionarán esta programación:

- Se trata de una asignatura optativa, y por ello, el alumno matriculado en ella lo hace porque considera que la materia puede ser interesante, y por tanto tiene una actitud favorable.
- Es una asignatura especializada con lo que el estudiante que asiste a ella tiene una mejor base informática y una mayor motivación.
- Como desventaja se tiene que al ser un contenido especializado no existen libros de texto al respecto; pero se puede considerar favorable en el sentido de una mayor flexibilidad a la hora de seleccionar los temas y de poder transmitir a los alumnos técnicas en continuo avance. Por todo ello se trabajará básicamente con artículos y muy diversos libros (de ahí que no se incluya el apartado “Bibliografía básica comentada”, ya que no existe un libro dónde se pueda encontrar la mayoría de la materia).

Vistas estas características, he considerado interesante hacer una asignatura de temario flexible, de forma que el estudiante lo adapte a sus preferencias particulares. Para ello, tanto en la parte teórica como en la parte práctica, se le facilitará al alumno una pincelada de distintos aspectos del razonamiento en sus aspectos más teóricos y básicos como aplicados, y el propio alumno será el que decida sobre cuál de ellos quiere profundizar y trabajar más extensamente mediante la ponencia en el MiniCongreso de Estudiantes en la vertiente su vertiente teórica y en el Proyecto en su aplicación práctica. Al mismo tiempo, la estructura propuesta permite al profesor rediseñar fácilmente cada curso la asignatura. Se puede encontrar más información en la página web de la misma:

<http://www.dccia.ua.es/dccia/inf/asignaturas/RAZ>

5.1. OBJETIVOS Y MAPAS DE LA ASIGNATURA

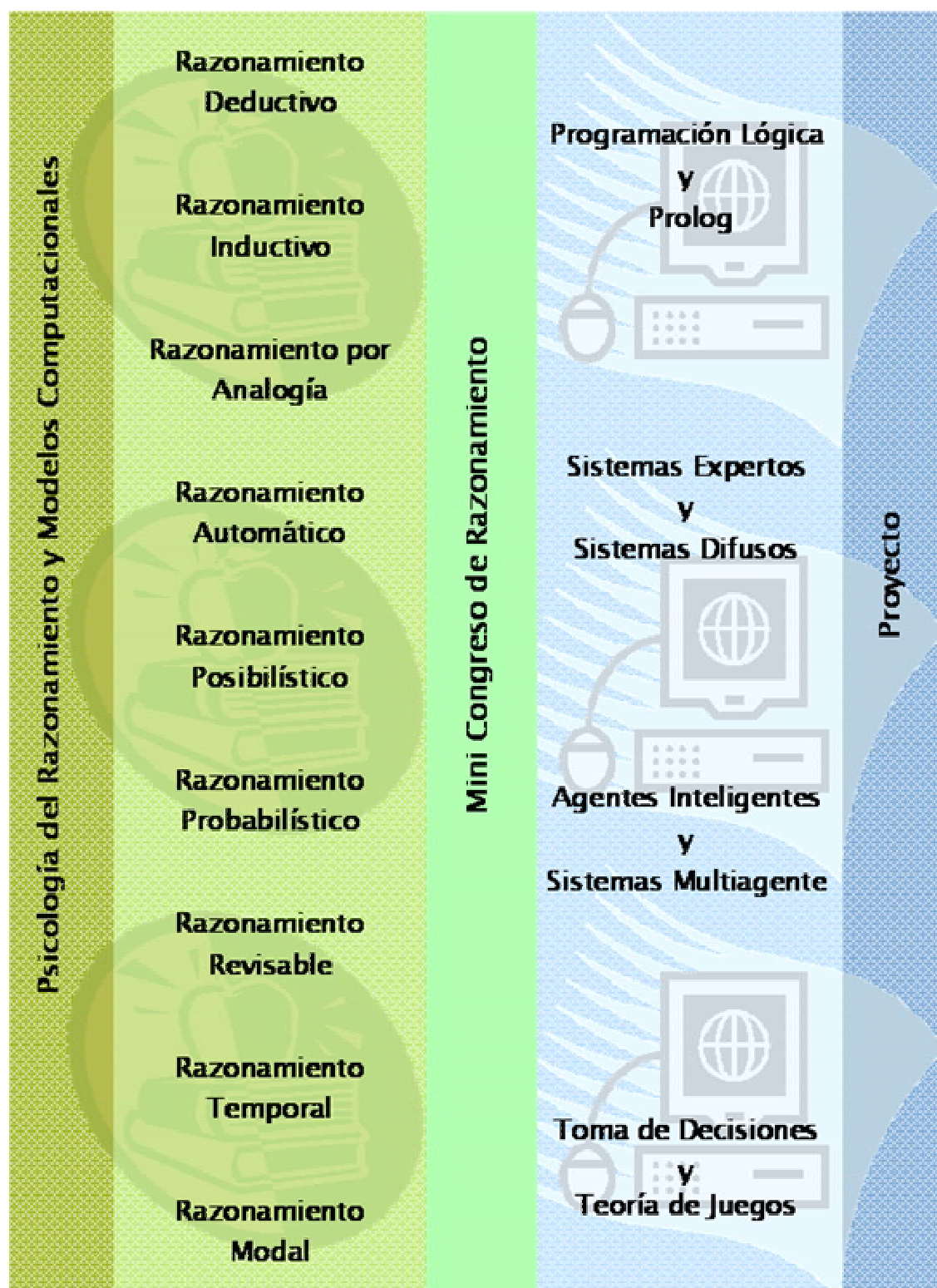
Al igual que en el capítulo anterior dedicado a Lógica Computacional, este primer apartado sirve para situarnos en la asignatura, dando un rápido vistazo sobre la misma. Enunciamos los objetivos que se pretenden alcanzar y dibujamos los mapas que nos permiten orientarnos y navegar por la asignatura (el *mapa temático* y el *mapa conceptual*).

5.1.1.Objetivos

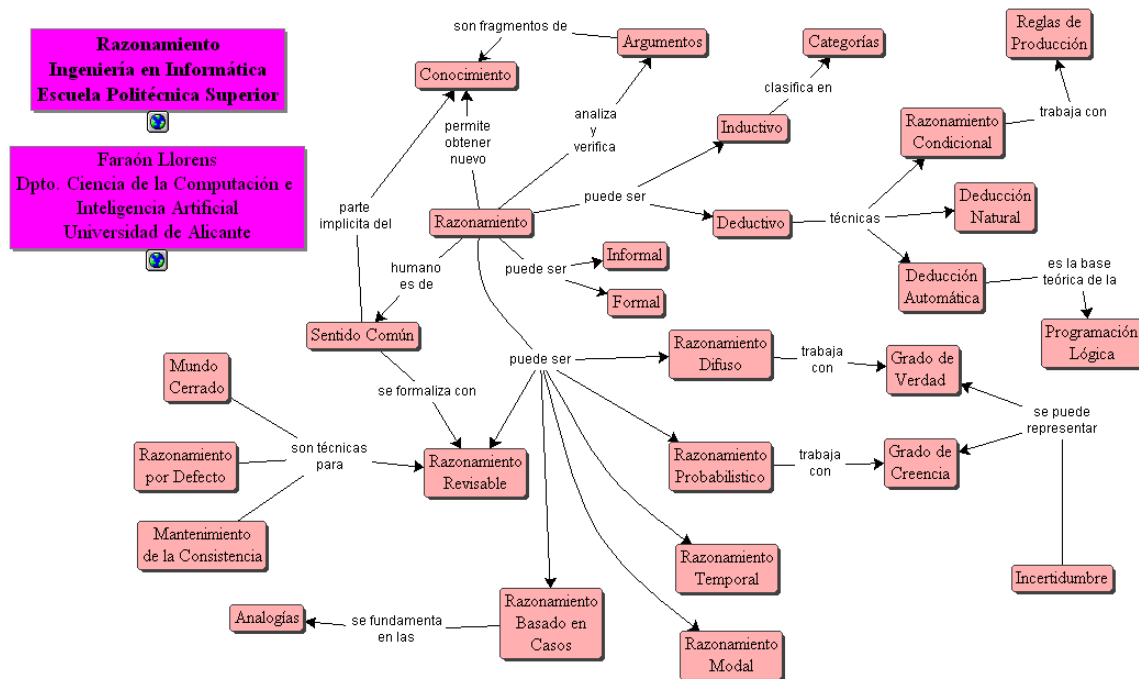
Los objetivos generales que se persiguen en esta asignatura son los siguientes:

1. Capacitar al alumno para el acceso y comprensión de la literatura específica de Razonamiento, dotándolo de un dominio del vocabulario técnico básico de dicho campo.
2. Proporcionar la habilidad literaria para el campo de la representación del conocimiento y el razonamiento, esto es, que los estudiantes puedan leer y escribir sobre temas de razonamiento.
3. Reflexionar sobre la racionalidad en general, sobre sus límites y sobre la naturaleza del sentido común.
4. Conocer los fundamentos formales de los modelos de razonamiento como punto de partida para el desarrollo de sistemas inteligentes, en dominios específicos en los que el modelo lógico clásico se muestra inoperante: tratamiento de imprecisión, información incompleta, consideración de restricciones de tiempo, no monotonía, ...
5. Proporcionar una formación sólida en los fundamentos formales de la Programación Lógica y desarrollar habilidades en el aspecto práctico de manejo de este tipo de lenguajes de programación.
6. Aplicar los conocimientos y las técnicas aprendidas a situaciones que se presentan en la empleo de la inteligencia artificial en la resolución real de problemas: programación lógica, sistemas basados en conocimiento, sistemas multiagente y toma de decisiones.
7. Tomar contacto con lenguajes y herramientas experimentales con el doble objeto de afianzar los contenidos teóricos e instrumentar sistemas de razonamiento.
8. Comunicar la belleza y la emoción del razonamiento humano y de los modelos computacionales de razonamiento.
9. Conocer el contexto del Razonamiento en Informática y, en concreto, captar su relación con la Inteligencia Artificial.

5.1.2. Mapa Temático



5.1.3. Mapa Conceptual



Este mapa se encuentra en tamaño A4 en las páginas finales de este documento

5.2. ESTRUCTURA

Como ya he comentado en la introducción de este capítulo, al tratarse de conocimientos muy especializados, en continuo avance y por tanto difíciles de sistematizar, al buscar una medida nueva de los créditos centrada en el trabajo del estudiante y al pretender dotar a esta asignatura optativa de mayor flexibilidad y posibilidad de adaptación a los cambios, se plantea una estructura de cuatro módulos:

- Módulo Teórico: que incluye las lecciones del profesor en el aula.
- Módulo de Trabajo: constituido por el MiniCongreso de Estudiantes sobre Razonamiento
- Módulo de Aplicación: consistente en la exposición de aplicaciones tecnológicas con componentes relacionadas con el razonamiento.
- Módulo Práctico: que implica el desarrollo por parte de los estudiantes de un proyecto concreto.

Tabla 10: Estructura de *Razonamiento*

RAZONAMIENTO		Optativa
Dpto. de <i>Ciencia de la Computación e</i>		6 Créditos
<i>Inteligencia Artificial</i>		(3 Teoría y 3 Prácticas)
Universidad de Alicante		
Tema	Título	
Módulo Teórico		
Sesión 1	Introducción al Razonamiento	
Sesión 2	Psicología del Razonamiento y Modelos Computacionales	
Sesión 3	Razonamiento Deductivo	
Sesión 4	Razonamiento Automático	
Sesión 5	Razonamiento Posibilístico	
Sesión 6	Razonamiento Probabilística	
Sesión 7	Razonamiento Revisable	
Sesión 8	Razonamiento Temporal	
Sesión 9	Razonamiento Modal	
Sesión 10	Razonamiento por Analogía	
Sesión 11	Razonamiento Inductivo	
Módulo de Trabajo		
MiniCongreso de Estudiantes sobre Razonamiento		
Módulo de Aplicación		
Sesión 1	Programación Lógica y Prolog	
Sesión 2	Sistemas Expertos y Sistemas Difusos	
Sesión 3	Agentes Inteligentes y Sistemas Multiagente	
Sesión 4	Toma de Decisiones y Teoría de Juegos	
Módulo Práctico		
Proyecto		

5.2.1. Módulo Teórico

Sesión 1. INTRODUCCIÓN AL RAZONAMIENTO

- 1.1. Conceptos Básicos
- 1.2. La Representación del Conocimiento
- 1.3. La Argumentación
 - Construcción de Argumentos
 - Análisis de Argumentos
 - Refutación de Argumentos
- 1.4. Razonamiento Intuitivo y Formal
- 1.5. Razonamiento Deductivo e Inductivo
- 1.6. Razonamiento Lógico
 - Lógica Clásica
 - Lógicas No Clásicas
- 1.7. Razonamiento en Inteligencia Artificial

Se trata de un tema introductorio. En este capítulo se dará un rápido repaso por los conceptos básicos y que, de manera reiterada, irán apareciendo a lo largo del curso. *Razonamiento* es “la capacidad del hombre para manejar sus ideas”¹², pero no se puede separar razonamiento de representación del conocimiento. Se estudiarán y analizarán los argumentos y las reglas que los hacen correctos. En esencia un argumento es una promesa, de forma que si las premisas del argumento son verdaderas, el argumento correcto garantiza la verdad de la conclusión. Se pasará por todo tipo de razonamientos, desde informales a formales, intuitivos y lógicos, deductivos o inductivos, para llegar a lo que nos interesa: el uso del razonamiento en la inteligencia artificial. En todo el recorrido dirigido a estudiar e imitar el comportamiento de la mente humana se han desarrollado distintas lógicas más cercanas al pensamiento, referidas como lógicas no clásicas: modal, polivalentes, no monótonas, borrosas, temporales, analógicas, dinámica, etc.

Sesión 2. PSICOLOGÍA DEL RAZONAMIENTO Y MODELOS COMPUTACIONALES

2.1. Psicología del Razonamiento

- Errores y Sesgos en el Razonamiento
- Concepto de Racionalidad
- Heurísticos de Razonamiento

2.3. Modelos Computacionales

- Enfoque Sintáctico
- Enfoque Representacional: la Máquina Semántica
- Enfoque Conexionista

En una primera parte se abordará el proceso de razonamiento humano, desde una perspectiva psicológica, tratando de entender el complejo proceso del pensamiento y lo que llamamos racionalidad. Se verá que la conducta que podríamos llamar ideal y la actuación de las personas al emitir juicios no siempre se corresponden. Utilizamos reglas de andar por casa (*heurísticos*) que permiten simplificar la tarea de predecir y manejar la incertidumbre del mundo en que nos movemos. A partir de aquí damos el salto a los modelos normativos de comportamiento y a su plasmación en modelos computacionales, susceptibles de ser implementados en los ordenadores. Básicamente hay dos modelos el conexionista y el simbólico, muchas veces enfrentados pero complementarios desde el momento en que los humanos estamos dotados de una red neuronal biológica que al mismo tiempo ha sido capaz de crear el lenguaje y la lógica que nos caracterizan como seres racionales.

Sesión 3. RAZONAMIENTO DEDUCTIVO

3.1. Conceptos Básicos

3.2. Razonamiento Silogístico

3.3. Razonamiento Transitivo

3.4. Razonamiento Condicional

- Modelos de Reglas Mentales

En el *Razonamiento Deductivo* se parte de unas premisas para alcanzar una conclusión que necesariamente se debe seguir de ellas, o lo que es lo mismo, un razonamiento deductivo es correcto si es imposible que las premisas sean verdaderas y la conclusión falsa. Es por

¹² Tirso de Andrés, *Homo cybersapiens. La inteligencia artificial y la humana*

ello que decimos que el razonamiento deductivo es un proceso que va de lo general a lo particular o *hacia abajo*. Las conclusiones deductivas son en cierto modo tautológicas (cierto o falso, todo o nada) y únicamente reflejan información contenida en las premisas. Según el tipo de argumento deductivo, los trabajos se pueden agrupar en tres tipos: el razonamiento silogístico (proposiciones con cuantificadores), el razonamiento transitivo (proposiciones con relaciones internas) y el razonamiento condicional (proposiciones con el condicional). En un silogismo, el análisis de la deducción se centra en el establecimiento de conexiones encadenadas por medio de la cópula *es*. En el razonamiento transitivo se estudian las inferencias que dependen de las relaciones de transitividad (ordenación lineal de objetos). La formulación del conocimiento por medio de reglas (*si ... entonces*) es la más habitual en el lenguaje cotidiano. Los *sistemas basados en reglas de producción*, creados por el lógico Post en 1943 como mecanismo de computación, encontraron una amplia aplicación en distintos campos: inteligencia artificial, teoría de autómatas, lenguajes de programación, gramáticas formales, ...

Sesión 4. RAZONAMIENTO AUTOMÁTICO

- 4.1. Conceptos Básicos
- 4.2. Forma Clausal
- 4.3. Principio de Resolución
- 4.4. Estrategias de Resolución

Los sueños sobre máquinas racionales son muy antiguos. Ya Ramón Llull persiguió una automatización del razonamiento, con complejos diagramas y figuras. Aquí se abordará la utilización de la lógica a la resolución de problemas deductivos y a la respuesta de cuestiones, basados en la notación en forma clausal como forma de representación y el principio de resolución como única regla de inferencia. Todo ello sostenido por conceptos como universo de Herbrand, sustitución y unificación y estrategias de búsqueda de cláusulas y de selección de átomos. Se utiliza como estrategia para la demostración de un argumento la refutación, es decir estudiar el comportamiento de las premisas junto a la negación de la conclusión. Gracias al teorema de Herbrand nos limitamos entonces a estudiar la insatisfacibilidad de un conjunto finito de fórmulas. Con ello queda establecida la base formal de la programación lógica, que se trabajará en el módulo de aplicaciones.

Sesión 5. RAZONAMIENTO POSIBILÍSTICO

- 5.1. Conceptos Básicos
 - Lógica Polivalentes o Multivaluadas
- 5.2. Lógica de Difusa o Borrosa ("Fuzzy")
 - Conjuntos Difusos
 - Sintaxis: variables y modificadores lingüísticos
 - Semántica Difusa de Fórmulas
 - Conectivas Lógicas
- 5.3. Inferencia Difusa
 - Regla Composicional de Inferencia
 - Emborronamiento y Desemborronamiento

Un primer paso para ir más allá de la lógica bivalente es la introducción de más valores lógicos de verdad. Se empezará introduciendo un valor intermedio entre verdadero y falso que se generalizará posteriormente a n valores. Y se llegará a la Lógica Difusa ("Fuzzy"), que puede considerarse una extensión de la lógica multivaluada, y que permite

diluir el blanco y el negro de la lógica clásica en los grises con que el sentido común percibe el mundo. Zadeh planteó en 1965 el concepto de conjunto difuso para caracterizar la extensión de predicados vagos, donde es difícil identificar el borde que delimita la verdad de la falsedad de dicho predicado. Sin embargo, estas clases definidas imprecisamente juegan un papel importante en el pensamiento humano. La extensión de estos conceptos a la lógica nos permite formalizar operaciones del razonamiento impreciso sobre conceptos imprecisos, típicos del razonamiento humano.

Sesión 6. RAZONAMIENTO PROBABILÍSTICO

6.1. Conceptos Básicos

- Incertidumbre y Creencias
- Razonamiento y Calibración

6.2. Inferencia Estadística

- Teoría de Probabilidades
- Teorema de Bayes

6.3. Redes Bayesianas

6.3. Modelo de Dempster-Shafer

6.4. Sistemas Basados en Medidas de Certeza

- MYCIN
- PROSPECTOR

6.5. Lógicas Probabilísticas

En muchas ocasiones las premisas no nos permiten extraer conclusiones definitivas, bien porque no se dispone de toda la información necesaria o bien porque dicha información únicamente nos permite predecir posibles resultados. Las conclusiones alcanzadas serán, por tanto, *probables*. En nuestra vida diaria continuamente estamos tomando decisiones basadas en juicios de probabilidad. Por otro lado, cuando analizamos conocimiento acerca de nuestro entorno, las *cantidades relativas* (proporciones) son mucho más usuales que las *cantidades absolutas* (numero). Esta forma de tratar con incertidumbre es por medio de un valor que represente el *grado de creencia* que el agente tiene en esa determinada sentencia. Tras una breve introducción a la *Teoría de Probabilidades*, marco formal en que se basa el razonamiento probabilística, se estudiarán el modelo de *Redes Bayesianas* de Pearl en el que se plantea un modelo modular y explicativo basado solamente en probabilidades, el *modelo de Dempster y Shafer* que constituye una flexibilización del modelo general probabilista para tener en cuenta la falta de información, una serie de modelos que aparecieron como posibilidad de manejar la probabilidad en los *sistemas expertos* (MYCIN y PROSPECTOR) y distintos trabajos que describen *lógicas formales* para manejar grados de creencia y para razonar sobre sentencias estadísticas.

Sesión 7. RAZONAMIENTO REVISABLE

7.1. Conceptos Básicos

- Historia del Razonamiento no Monótono
- Bases del Razonamiento no Monótono

7.2. Razonamiento por Defecto

- Lógica no Monótona
- Lógica por Defecto
- Abducción
- Herencia

7.3. Razonamiento Minimalista

- Negación por Fallo

- Suposición de un Mundo Cerrado
- Circunscripción

7.4. Sistemas de Mantenimiento de la Consistencia

De acuerdo con el *principio de monotonía* de la LPO si una conclusión Q puede ser obtenida de un conjunto dado de premisas P , siempre podremos seguir deduciéndola a partir del conjunto de premisas resultante de añadir a P cualquier otra información. Pero, el razonamiento humano no trabaja de esta manera, y la obtención de nueva información puede llevarnos a cambiar creencias anteriores. El razonamiento humano es *no monótono* en el sentido de que partimos de una base con información parcial sobre la que actuamos y cuando obtenemos más información es cuando revisamos las conclusiones. Nuestra capacidad para cambiar de opinión cuando las circunstancias lo exigen constituye un elemento crucial del sentido común. Razonamos guiándonos por el conocimiento obtenido a través de las experiencias anteriores, pero a la vez, permitiendo que esa base de conocimiento pueda ser variada si los hechos nos demuestran lo contrario. Por tanto, el sistema debe ser capaz de obtener conclusiones, y ser suficientemente robusto para que cuando se obtenga una conclusión, alcanzada por razonamiento no monótono, y ésta sea errónea, se proceda a su revisión. Por eso también se le conoce como *razonamiento revisable*. En este capítulo se verán técnicas eficaces de razonamiento cuando no se dispone de un modelo del mundo completo, consistente y constante. Y diversos formalismos lógicos que proporcionan mecanismos para realizar estos razonamientos. Existen gran cantidad de artículos describiendo aproximaciones al razonamiento no monótono como extensiones de los sistemas lógicos: circunscripción, razonamiento por defecto, lógica modal para el manejo de la no monotonidad, etc.

Sesión 8. RAZONAMIENTO TEMPORAL

- 8.1. Conceptos Básicos
- 8.2. Representación de la Información Temporal
 - Fechas Absolutas
 - Relaciones Temporales Cualitativas
 - Relaciones Temporales Cuantitativas

La aplicación de técnicas de resolución de problemas dependientes del tiempo, es decir, aquellos en los que la información cambia dinámicamente en el tiempo, da lugar básicamente a dos problemáticas: la representación y el razonamiento temporal, y el razonamiento no monótono (aspecto ya tratado en un capítulo anterior). Otra característica básica a la dependencia temporal es el requisito de tiempo real, es decir, la obtención de respuesta en un tiempo finito preestablecido (*tiempo crítico*). El objetivo de la Lógica Temporal es razonar con sentencias que tienen algún aspecto temporal. Y así, la misma sentencia puede tener diferentes valores de verdad en diferentes momentos. Problemas relacionados con la representación de conocimiento y el razonamiento temporal aparecen en distintos campos, y particularmente en Informática: sistemas de información, especificación y verificación de programas, inteligencia artificial, robótica, planificación, computación paralela, etc.

Sesión 9. RAZONAMIENTO MODAL

- 9.1. Conceptos Básicos
- 9.2. El Lenguaje Modal
- 9.3. Teoría Semántica

- 9.4. Sistemas de Lógica Modal
- 9.5. Lógica Dinámica
- 9.6. Otros Sistemas Modales

La Lógica Modal se puede describir como la lógica de la *necesidad* (debe ser) y de la *posibilidad* (puede ser). Se introduce la idea de mundos concebibles y la relación de accesibilidad entre los distintos mundos del universo. Así, una proposición modal viene dada no sólo desde lo sintáctico por su derivación o no, sino que puede interpretarse como verdadera o falsa según los mundos en los que cabe su satisfacibilidad. Podemos encontrar aplicaciones y usos de la Lógica Modal en muy variados campos: análisis del tiempo, concurrencia, lógica de la creencia y lógica por defecto, verificación de programas, etc.

Sesión 10. RAZONAMIENTO POR ANALOGÍA

- 10.1. Conceptos Básicos
 - Inferencia Analógica
 - Analogía Transformacional y Analogía Derivacional
- 10.2. Razonamiento por Analogía como Solución de Problemas
- 10.3. Adquisición de Conocimiento por Analogía
- 10.4. Razonamiento Basado en Casos

El modelo de pensamiento analógico se basa en que una vez que se han encontrado buenas formas de resolver un problema, estas se aplican a problemas semejantes. El razonamiento analógico como proceso para la solución de problemas consiste en un procedimiento cognitivo que se aplica a escenarios desconocidos basándonos en situaciones previas conocidas. Los procesos básicos que subyacen son el acceso y la recuperación del problema análogo previo y la extrapolación al nuevo problema. Además las analogías pueden contribuir a que los agentes construyan más fácilmente las representaciones de nuevos conceptos basándose en el conocimiento ya adquirido. Todo ello ha dado lugar a los sistemas de razonamiento y aprendizaje basados en casos utilizados ampliamente en inteligencia artificial.

Sesión 11. RAZONAMIENTO INDUCTIVO

- 11.1. Conceptos Básicos
- 11.2. Inducción Categórica
 - Estructuración Conceptual
 - Combinación de Conceptos
 - Proceso de Categorización
- 11.3. Lógica Inductiva
- 11.4. Aprendizaje Inductivo

En el *Razonamiento Inductivo* alcanzaremos una conclusión que vendrá más o menos apoyada por las premisas. En un argumento inductivo las premisas apoyan o sugieren la conclusión, por ello decimos que es un proceso que se llega a lo general a partir de lo particular o *hacia arriba*. Diremos que un razonamiento inductivo es fuerte si es improbable que la conclusión sea falsa cuando las premisas sean verdaderas. Hablamos por tanto de fuerza del argumento y esto es cuestión de grados. Por tanto, las conclusiones inductivas son probabilísticas y van más allá de la propia evidencia expresada en las premisas. Uno de los procesos básicos del funcionamiento cognitivo es la forma en que los sujetos dividen el entorno en clases, dando lugar a las categorías. Las

categorías son los cimientos sobre los que el sujeto seguirá clasificando e interpretando. Esta inducción categórica tiene dos claros beneficios, por un lado el ahorro cognitivo que supone la agrupación en clases y por otro la posibilidad de inferir más información que la presentada. Por otro lado, la lógica inductiva es la lógica de la ciencia, de forma que si un experimento se lleva a cabo con frecuencia y la mayoría de las veces se obtienen cierto resultado, podemos decir con cierto grado de seguridad que dicho resultado seguirá apareciendo si el experimento se repite a menudo bajo circunstancias que sean esencialmente las mismas. Es una herramienta que permite medir la garantía que ofrece una evidencia, manejando y controlando la incertidumbre.

5.2.2. Módulo de Trabajo

MINICONGRESO DE ESTUDIANTES SOBRE RAZONAMIENTO

1. Llamada a la Participación
 - Normas de presentación de trabajos
 - Fechas importantes
 - Áreas de interés
2. Entrega Trabajos, Revisiones y Aceptación de Trabajos
3. Ponencias

El MiniCongreso de Estudiantes sobre Razonamiento pretende fomentar el intercambio de opiniones a través de la presentación de trabajos relacionados con el Razonamiento en general, desde sus aspectos psicológicos hasta aspectos técnicos, sobre los distintos modelos computacionales y las distintas aplicaciones de los mismos. Todas las contribuciones aceptadas aparecerán publicadas en el libro de actas del MiniCongreso, disponible en formato pdf en el sitio web de la asignatura. Este módulo pretende cubrir objetivos 1, 2 y 3, asentando en el estudiante la capacidad de escribir y comunicar sobre temas de su ámbito de conocimiento. La ponencia se podrá elaborar en grupos y tendrá una extensión máxima de ocho páginas y la presentación constará de diez minutos de exposición y cinco minutos de preguntas y debate.

5.2.3. Módulo de Aplicación

Sesión 1. PROGRAMACIÓN LÓGICA Y PROLOG

- 1.1. Conceptos Básicos
 - Programación Declarativa
 - Sintaxis y Semántica de los Lenguajes de Programación
- 1.2. Representación de Programas Lógicos
 - Cláusulas de Horn Definidas
 - Notación para la Programación Lógica
 - Interpretación de las variables en un programa lógico
 - Interpretación de las Cláusulas de Horn como Lenguaje de Programación
- 1.3. Semántica de Programas Lógicos

- Semántica Operacional: SLD-Resolución
 - Semántica Declarativa: Modelo Mínimo de Herbrand
- 1.4. El lenguaje Prolog
- 1.5. Aplicaciones Prolog
- Bases de Conocimiento
 - Lenguaje Natural
 - Resolución de Problemas y Juegos

El objeto de esta sesión es el estudiar la aplicación de la lógica a la resolución de problemas y a la programación de ordenadores. La base teórica ya se ha visto en la sesión de demostración automática, dedicando esta sesión a su descripción como herramienta de programación. Se utiliza como notación base la forma clausal, que siendo más sencilla es igual de poderosa, y la interpretación de inferencia lógica como resolución de problemas. Empleada como un lenguaje para comunicarse con los ordenadores, la lógica representa un formalismo de nivel superior y más orientado a la persona que otros lenguajes de programación. Toda esta base teórica dio como resultado la aparición de una clase de lenguajes de programación: la Programación Lógica. El lenguaje Prolog (PROgramación LOGica), definido por Colmerauer en 1972, es el mejor representante de esta nueva concepción de la programación. Seguidamente se verá su uso en tres de los grandes grupos de aplicaciones más interesantes y clásicas: las bases de conocimiento, el procesamiento del lenguaje natural y la resolución de problemas y juegos.

Sesión 2. SISTEMAS EXPERTOS Y SISTEMAS DIFUSOS

- 2.1. Introducción
- 2.2. Sistemas Expertos
- Estructura de un Sistema Experto
 - Sistemas Expertos Basados en Reglas
- 2.3. Sistemas de Razonamiento Aproximado
- Modelos Basados en Medidas de Certeza
 - Sistemas Basados en Lógica Difusa

A la parte de la Inteligencia Artificial dedicada al estudio de los principios, métodos y herramientas aplicables a la utilización del conocimiento humano en materias concretas y de sus fuentes para construir sistemas informáticos que reflejen ese conocimiento se le denomina *Ingeniería del Conocimiento*. Durante los años 70 se produjeron una serie de desarrollos por parte de los investigadores de Inteligencia Artificial que dieron lugar al concepto de *Sistemas Basados en el Conocimiento*, que no sólo deben facilitar los hechos que han ocurrido previamente, sino que deben ser capaces de extraer conclusiones e incorporar nuevos hechos para poder ser utilizados en posteriores razonamientos. De ahí que . Estos sistemas están dedicados a tareas específicas que requieren una gran cantidad de conocimiento de un dominio de experiencia especializado, por lo que en una primera época se denominó *Sistemas Expertos*. El tipo de sistemas expertos que más se ha estudiado de forma teórica y formal ha sido el de los *Sistemas Expertos Basados en Reglas de Producción*. Si queremos un razonamiento de *sentido común* que nos permita tratar con la incertidumbre, utilizaremos las denominadas *Técnicas de Razonamiento Aproximado*. Para ello podemos usar medidas de certeza. Sus orígenes aparecen ya en los primeros prototipos de sistemas expertos tales como MYCIN o PROSPECTOR. Otra posibilidad es utilizarla lógica difusa.

Sesión 3. AGENTES INTELIGENTES Y SISTEMAS MULTIAGENTE

- 3.1. Conceptos Básicos
 - Agentes Inteligentes
 - Inteligencia Artificial Distribuida
 - Sistemas Multiagente
- 3.2. Arquitecturas de Agentes Inteligentes
 - Agentes Reactivos
 - Agentes Deliberativos
 - Arquitecturas Híbridas
- 3.3. Comunicación entre Agentes
 - Actos Comunicativos
 - Métodos de Comunicación
 - Protocolos de Comunicación
 - Semántica de la Comunicación y Ontologías
- 3.4. Interacción y Coordinación
 - Interacción entre Agentes
 - Características y Tipos de Coordinación

Muchos problemas tienen una naturaleza distribuida y el conocimiento especializado no esta disponible en un agente individual. Puede darse el caso de que diversos agentes coordinen sus tareas para alcanzar un objetivo común. Este aspecto es tratado en la *Inteligencia Artificial Distribuida*. Los *Sistemas MultiAgente* (MAS “MultiAgent System”) forman una comunidad social de miembros interdependientes que actúan individualmente. La solución de un problema no requiere el diseño y desarrollo de un nuevo agente especializado y en su lugar puede ser utilizado el conocimiento de los agentes existentes y permitiendo que trabajen conjuntamente para resolver el problema. La dificultad que surge es que necesitan unas normas y un canal de comunicación. La clase más sencilla de interacción entre agentes sería aquella en la que nuestro agente reacciona a los efectos del entorno generados por los demás agentes a medida que ocurriesen y los percibiera. Se trata de *agentes reactivos*. Si nuestro agente ha de tener en cuenta la actividad de los otros agentes, necesitará disponer de modelos que pueda usar para prever cómo se comportarán estos y utilizarlos al construir sus propios planes. Al modelo del agente, junto con el mecanismo para utilizarlo y seleccionar las acciones, se le denomina estructura cognitiva y a estos agentes, *agentes deliberativos*. A menudo, la estructura cognitiva incluye también los objetivos e intenciones del agente. Las *arquitecturas híbridas* pretenden combinar aspectos deliberativos y reactivos.

Sesión 4. TOMA DE DECISIONES Y TEORÍA DE JUEGOS

- 4.1. Conceptos Básicos
- 4.2. Teoría de la Utilidad
- 4.3. Teoría de Juegos
 - Juegos Cooperativos y no Cooperativos
 - Juegos de Suma Cero
 - Juegos de n personas
- 4.4. Negociación
 - Principios y Protocolos de Negociación
 - Toma de Decisiones durante la Negociación
 - Estrategias de Negociación

Diariamente hemos de tomar decisiones difíciles, a veces con resultados distintos de los que habíamos esperado. Los dilemas de la vida real surgen gracias a las diversas maneras

con las que nuestros intereses individuales se contraponen a los de los demás y a los de la sociedad en general. Nos planteamos entonces la cuestión ¿existe un comportamiento racional para cada situación? La teoría matemática de juegos nos permite abordar este tipo de cuestiones. Von Neumann propone una concepción del mundo como juego matemático, un mundo regido globalmente por una lógica universal. La teoría de juegos estudia la pugna entre unos oponentes que piensan y que pueden ser capaces de engañar al otro. En estos sistemas complejos juegan un papel preponderante las negociaciones que permiten resolver conflictos, asignar tareas y tomar decisiones. Las características más importantes de una negociación son el lenguaje utilizado por los agentes participantes, el protocolo seguido por los agentes para la negociación y el proceso de decisión (estrategias) que cada agente utiliza para determinar su posición, concesiones y criterios para el acuerdo. Un protocolo de negociación define las reglas que gobiernan la negociación, incluyendo cómo y cuándo finaliza la misma. La negociación automática puede ahorrar tiempo a los humanos además de realizar contratos más beneficiosos. Existen distintas técnicas de negociación: votación (“voting”), subasta (“auction”), pacto (“bargaining”), mecanismos de mercado (“market mechanisms”), contratación (“contracting”) y coaliciones (“coalition formation”).

5.2.4. Módulo Práctico

PROYECTO

1. Planificación
2. Definición y Propuesta del Proyecto
3. Desarrollo
 - Búsqueda e Investigación Bibliográfica
 - Realización del Proyecto
4. Presentación y Defensa
 - Memoria y Material a Entregar
 - Defensa del Proyecto

Este módulo pretende cubrir objetivos 6 y 7, al tener que realizar el estudiante un proyecto práctico que recoja y refleje algunos de los conceptos y técnicas vistos en las sesiones teóricas y de aplicación. Para ello se analizarán las herramientas existentes y se utilizará aquella que se considere más conveniente. El trabajo se puede realizar en grupo. Los propios estudiantes son los que realizarán la definición y propuesta del proyecto, que una vez aceptado por el profesor se encargarán de materializar.

5.3. PLANIFICACIÓN

Al igual que en el capítulo anterior, aquí presento la distribución temporal de los módulos propuestos en el apartado de estructura así como los criterios de evaluación que se aplicarán. Atendiendo a la asignación de créditos del plan de estudios y a la equivalencia en horas de dichos créditos, tenemos que distribuir el contenido en:

Teoría: 15 sesiones de 2 horas (semanales)
 Prácticas: 15 sesiones de 2 horas (semanales)

5.3.1.Sesiones

Semana	Teoría	Prácticas
1	Presentación de la asignatura Introducción al Razonamiento	Mini Congreso de Estudiantes sobre Razonamiento: Llamada a la Participación
2	Psicología del Razonamiento y Modelos Computacionales	Proyecto: Definición y Propuesta del Proyecto Planificación
3	Razonamiento Automático	Programación Lógica y Prolog
4	Razonamiento Deductivo	
5	Razonamiento Posibilístico	Sistemas Expertos y Sistemas Difusos
6	Razonamiento Probabilístico	
7	Razonamiento Revisable	Agentes Inteligentes y Sistemas Multiagente
8	Razonamiento Temporal	
9	Razonamiento Modal	Toma de Decisiones y Teoría de Juegos
10	Razonamiento por Analogías	
11	Razonamiento Inductivo	Desarrollo del Proyecto
12	Desarrollo del Proyecto	
13	Entrega Trabajos, Revisiones y Aceptación de Trabajos	Desarrollo del Proyecto
14	Mini Congreso de Estudiantes sobre Razonamiento	
15	Presentación y Defensa del Proyecto	

5.3.2.Criterios de Evaluación



Nota del Módulo Teórico : NT

Al finalizar el cuatrimestre, se realizará una prueba escrita, que consistirá en unas cuestiones cortas tipo “test” y ejercicios



Nota del Módulo de Trabajo (MiniCongreso de Estudiantes) : NC

Se valorará tanto el documento escrito como la presentación de la ponencia.

 **Nota del Módulo de Aplicación :**NA

Al finalizar el cuatrimestre, se realizará una prueba escrita, que consistirá en unas cuestiones cortas tipo “test” y ejercicios

 **Nota del Módulo Práctico (Proyecto) :**NP

Se valorará tanto el materia presentado como la defensa del proyecto.

 **Nota Global :**NG

$$NG = 0'25 \times NT + 0'25 \times NC + 0'25 \times NA + 0'25 \times NP \quad \text{sii} \quad NP, NA, NC, NT \geq 5$$

Aclaraciones:

- Fomentar el trabajo en grupo en las actividades del MiniCongreso y del Proyecto.
- Posibilidad de evaluar el módulo de aplicación conjuntamente con el proyecto

5.4. REFERENCIAS DOCUMENTALES

Muchos de los libros recomendados en el capítulo anterior para la asignatura *Lógica Computacional* nos servirán también para esta asignatura, como por ejemplo [Dodd, 1990], [Hofstadter, 1998b], [Nerode y Shore, 1997] y [Tymoczko y Henle, 2002], entre otros. Ahora añadiremos algunos específicos para esta asignatura.

[Alchurrón, 1995]

Lógica

Carlos E. Alchurrón

Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía, 7

Consejo Superior de Investigaciones Científica. Editorial Trotta, 1995

La Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía, proyecto de investigación y edición puesto en marcha por el Consejo de Investigaciones Científicas, la Universidad Nacional Autónoma de México y el Centro de Investigaciones Filosóficas de Buenos Aires, dedica el volumen 7 a la *Lógica*. Esta obra es una introducción a la lógica, en particular a la lógica clásica (de primer orden y de orden superior) y a las principales lógicas no-clásicas (modal, multivaluada, temporal, epistémica, ...). Cada artículo incluye un preámbulo histórico-filosófico, el desarrollo técnico de la lógica del caso y una exposición sobre el estado actual del tema. Finalmente se incluye una bibliografía de autores destacados en el tema.

[Bacchus, 1990]

Representing and Reasoning With Probabilistic Knowledge. A Logical Approach to Probabilities

Fahiem Bacchus

The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 1990

La información probabilística es muy usada en los sistemas inteligentes. Este libro explora formalismos lógicos para representar y razonar con información probabilística y cómo incorporar las probabilidades a la Inteligencia Artificial. El autor diferencia entre lo que llama *probabilidades proposicionales* (aquellas que denotan grados de creencia, “pienso que el F.C. Barcelona tiene un 80% de ganar la liga”) y *probabilidades estadísticas* (que representan estudios estadísticos, “el F.C. Barcelona ha ganado un 80% de los partidos de liga jugados esta temporada”). Así, en este libro se especifican lógicas probabilísticas de primer orden, que incorporan esquemas desarrollados en los razonamientos probabilísticos usados en Inteligencia Artificial.

[Bratko, 1990]

PROLOG Programming for Artificial Intelligence

Ivan Bratko

Addison-Wesley, second edition, 1990

Este libro es una valiosa herramienta, tanto para estudiantes como para programadores profesionales, que quieran adentrarse en el campo de la Inteligencia Artificial, en concreto en la programación en Prolog. Toda persona interesada en el campo de la Inteligencia Artificial debe conocer los lenguajes Lisp y Prolog. Tal como dice el autor, la mejor manera de aprender programación orientada al objetivo es leer y escribir programas orientados al objetivo en Prolog. Una introducción a Prolog es importante para los estudiantes de Informática. La evolución de los lenguajes de programación es una evolución desde los lenguajes de bajo nivel (*cómo* se debe hacer) hacia los lenguajes de alto nivel (*lo qué* se debe hacer). Prolog requiere del programador que describa las situaciones y los problemas, no los detalles para resolverlos. Este libro contiene abundantes ejercicios que refuerzan los conceptos, así como una discusión de las técnicas y estilo de programación lógica. La primera parte del libro introduce el lenguaje Prolog y sus técnicas, mientras que la segunda demuestra la potencia de Prolog al ser aplicado en algunas áreas centrales de la Inteligencia Artificial (resolución de problemas, búsqueda heurística, sistemas expertos y representación del conocimiento, planificación, procesamiento del lenguaje natural, aprendizaje y juegos).

[Brewka, Dix, y Konolige, 1997]

Nonmonotonic Reasoning. An Overview

Gerhard Brewka, Jürgen Dix y Kurt Konolige

CSLI Lecture Notes n° 73, 1997

CSLI Publications, Stanford, California

El Razonamiento No Monótono es un subcampo de la Inteligencia Artificial que intenta encontrar modelos de razonamiento formales más reales que los de la lógica clásica, tal como razona el *sentido común*. El conjunto de conclusiones no crece monótonamente conforme vamos obteniendo más información; el razonamiento humano puede llevarnos a cambiar de creencias al obtener nuevas evidencias. Este libro presenta una visión general de las últimas investigaciones en el campo: circunscripción, lógica autoepistémica, lógica por defecto, abducción y negación por defecto.

[Cuenca, 1995]

Notas sobre Modelos de Razonamiento

José Cuenca

Facultad de Informática, Servicio de Publicaciones, Univ. Politéc. de Madrid, 1995

Estas notas pretenden presentar una documentación de referencia para el concepto de Sistemas de Conocimiento Estructurado partiendo de distintos tipos de representaciones elementales de conocimiento, terminando con modelos de integración. En el primer capítulo se resumen las formas de representación del conocimiento básicas, para en el segundo tratar los modelos computables, que basándose en estas representaciones, incorporan grados de creencia o certeza. El tercer capítulo describe el razonamiento no monótono, que permite asumir creencias que pueden ser revisables de forma que podamos retractarnos de ellas cuando se comprueba su incongruencia. El capítulo cuarto presenta una gama de métodos de razonamiento orientados a resolver tareas clásicas de Inteligencia Artificial. Finalmente el capítulo quinto trata diversos enfoques metodológicos de diseño de aplicaciones orientado al conocimiento.

[Genesereth y Nilsson, 1987]

Logical Foundations of Artificial Intelligence

Michael R. Genesereth y Nils J. Nilsson

Morgan Kaufmann Publishers, 1987

El texto está apoyado en dos suposiciones. La primera que los progresos en una disciplina, científica e ingenieril, requiere la invención y el uso de un aparato matemático adecuado para expresar y unificar las ideas. La segunda que la lógica simbólica constituye una parte importante de las matemáticas de la inteligencia artificial. Bajo estas premisas, el libro desarrolla algunos de los tópicos más importantes de la IA relacionados con el uso del lenguaje y las técnicas de la lógica. Tras una Introducción (cap. 1), se aborda el Conocimiento Declarativo (cap. 2), la Inferencia (cap. 3), la Resolución (cap. 4) y las Estrategias de Resolución (cap. 5), temas clásicos de la lógica en IA. Los capítulos del 6 al 10 (Razonamiento no Monótono, Inducción, Razonamiento bajo Creencias Inciertas, Conocimiento y Creencia, y Metaconocimiento y Metarazonamiento) pueden considerarse como introducciones a la literatura de estos temas. Finalmente los capítulos 11 al 13 están dedicados a Estado y Cambio, Planificación y Arquitectura de Agentes Inteligentes. El libro incluye ejercicios al final de cada capítulo y soluciones a los mismos al final del libro.

[González-Labra, 1998]

Introducción a la Psicología del Pensamiento

María José González Labra

Editorial Trotta, 1998

Manual de referencia en el que se recogen las principales perspectivas teóricas y estudios experimentales sobre la psicología del pensamiento, con particular énfasis en los estudios sobre razonamiento humano. A menudo se plantea la falta de adecuación del razonamiento humano a los cánones inmaculados de los modelos normativos como una "falla" en la racionalidad del comportamiento. Sin embargo, los principios de los modelos normativos no garantizan por sí solos la racionalidad, dado que el contenido y el sistema de creencias de los sujetos influyen sobre el rendimiento de sus prácticas. El libro está estructurado en once capítulos: 1. Análisis preliminar de la psicología del pensamiento, 2. Marco teórico

de los modelos computacionales, 3. Psicología del razonamiento, 4. La inducción categórica, 5. Conceptos y categorización, 6. El razonamiento silogístico y el transitivo, 7. El razonamiento condicional, 8. El razonamiento probabilístico, 9. La toma de decisiones, 10. El razonamiento analógico como solución de problemas y 11. El razonamiento analógico como proceso de aprendizaje.

[Hofstadter, 1998a]

Fluid Concepts and Creative Analogies. Computer Models of the Fundamental Mechanisms of Thought

Douglas R. Hofstadter

Penguin Books, 1998

Este libro presenta una década y media de investigaciones en ciencia cognitiva de Hofstadter y su grupo de investigación FARG ("Fluid Analogies Research Group"). El objetivo del grupo es triple: 1) entender la fluidez de los conceptos humanos; 2) entender cómo se usan conceptos asociados a los fluidos en la creación de analogías llenas de sentido, penetrantes y fundamentadas estéticamente; y 3) entender el papel que juegan tales analogías en el pensamiento altamente creativo. Sus trabajos se basan tanto en modelos por ordenador como en el cuidadoso estudio de la creatividad humana. El libro está estructurado cronológicamente. El capítulo 1 trata de los primeros trabajos y del proyecto "Seek-Whence", programa cuyo propósito era descubrir regularidades subyacentes en una sucesión de números enteros que se van añadiendo de uno en uno. El segundo capítulo está dedicado al proyecto "Jumbo", relacionado con los mecanismos cognitivos que permiten representar anagramas rápidamente y sin esfuerzo en nuestras mentes. El tercero trata del proyecto "Numbo", modelo de cómo la gente explora diversas combinaciones aritméticas de unos cuantos números dados para intentar obtener exactamente un número *objetivo* dado. El cuarto aborda cuestiones más filosóficas sobre investigaciones en inteligencia artificial. Los capítulos 5, 6 y 7 describen en detalle los logros del proyecto "Copycat", programa de ordenador que resuelve problemas sobre analogías en un dominio cuidadosamente confeccionado cuyo nivel más visible consiste en las letras del alfabeto, y cuyo nivel más oculto implica abstracciones de muchos tipos, incluyendo simetrías y agrupamientos. Los capítulos 8 y 9 están dedicados a "Tabletop", proyecto que presenta dos individuos hipotéticos, Henry y Eliza, cara a cara en la mesa de un café, y por ejemplo, Henry toca un objeto y dice *haz esto* y Eliza (el programa Tabletop) deberá realizar la misma tarea. Finalmente el capítulo 10 describe trabajos incipientes y de futuro.

[Kosko, 1995]

Pensamiento borroso. La nueva ciencia de la lógica borrosa

Bart Kosko

Editorial Crítica, 1995

En este libro Kosko sostiene que la forma de razonar en términos absolutos de *cierto* o *falso*, de origen aristotélico, no sirve ya para nuestro tiempo; que necesitamos aplicar una lógica borrosa capaz de captar los matices del mundo real, donde nada es absolutamente blanco o negro. Todo ello explicado de manera llana, comprensible y amena, continuamente ilustrado con ejemplos reales. Como dice el autor en el prefacio, su "objetivo no ha sido escribir un texto de lógica borrosa", si no que es la exposición de su visión borrosa del mundo. El libro se

estructura en cuatro partes: El principio borroso, El pasado borroso, El presente borroso y El futuro borroso.

[Nilsson, 2001]

Inteligencia Artificial. Una nueva síntesis

Nils J. Nilsson

McGraw-Hill, 2001

Estudia los conceptos y técnicas de la Inteligencia Artificial con la sucesiva construcción de agentes, cada uno ligeramente más complejo que el anterior. El uso de agentes como tema central permite unificar lo que, de otra forma, parecerían una colección de temas dispares. El libro está estructurado en varias partes: I. Sistemas Reactivos; II. Búsqueda en Espacios de Estado; III. Representación del Conocimiento y Razonamiento; IV. Métodos de Planificación Basados en Lógica; V. Comunicación e Integración. Además contiene numerosos ejemplos y ejercicios, así como una amplia referencia bibliográfica del tema. Se encuentra en el terreno intermedio entre teoría y aplicaciones y está pensado para un curso introductorio de un semestre de duración.

[O'Keefe, 1990]

The Craft of Prolog

Richard A. O'Keefe

The MIT Press, 1990

Este libro es más que un libro introductorio de Prolog. Está dirigido a aquellos lectores que ya han leído algún libro de Prolog, han escrito algún programa y han quedado fascinados con él y, por tanto, piden más. En él se pone énfasis en cómo deben ser escritos los programas Prolog para que trabajen de forma correcta, en usarlo de manera efectiva y razonable. Se parte del supuesto de que el lector ya conoce Prolog, y el primer capítulo proporciona la base para entender los siguientes, que no hace falta leerlos en el mismo orden. La estructura del libro está formada por un capítulo introductorio donde se describen las bases de Prolog, y una colección de capítulos independientes que tratan sobre tópicos de la programación en Prolog: búsqueda, métodos de programación, diseño de estructuras de datos, secuencias, ...

[Poole, Mackworth, y Goebel, 1998]

Computational Intelligence: A Logical Approach

David Poole, Alan Mackworth y Randy Goebel

Oxford University Press, 1998

Presenta una introducción unificada e integrada de la inteligencia artificial, a través de un agente inteligente que interactúa con su entorno. Como una aproximación lógica, clarifica e integra los fundamentos de la representación del conocimiento y el razonamiento. El libro está apoyado por el sitio web (<http://www.cs.ubc.ca/spider/poole/ci.html>) donde se ofrece el código fuente, scripts Java interactivos, ayudas pedagógicas y un entorno interactivo para el desarrollo y depuración de bases de conocimiento.

[Russell y Norving, 1996]

Inteligencia Artificial: un enfoque moderno

Stuart Russell y Peter Norving

Prentice Hall, 1996

Libro de texto sobre inteligencia artificial en el que se ofrece un panorama unificado y coherente. Muestra cómo construir agentes inteligentes utilizando los métodos de la IA y explican qué agentes son viables, dependiendo del tipo de tarea y de entorno. Se centran en aquellos temas y técnicas que más favorecen la construcción y análisis de sistemas inteligentes actuales y futuros. Se abordan distintas técnicas, entre las que figuran la fusión simulada, la búsqueda limitada por memoria, las ontologías globales, las redes de creencias dinámicas, las redes neuronales, las redes probabilísticas autoadaptables, la programación lógica inductiva, la teoría del aprendizaje computacional y el aprendizaje por refuerzo. Contiene gran cantidad de ejercicios y algoritmos, así como notas históricas y referencias bibliográficas muy completas.

[Sterling y Shapiro, 1994]

The Art of Prolog

Leon Sterling y Ehud Shapiro

Second Edition. The MIT Press, 1994

Es un libro escrito para hacer accesibles al lector las técnicas de programación lógica. A lo largo del libro se resalta la distinción entre programación lógica y Prolog. Los programas lógicos pueden ser estudiados y entendidos mediante los conceptos de verdad y deducción lógica, independientemente del mecanismo concreto de ejecución. Por el contrario, Prolog es un lenguaje de programación, y por tanto tiene un significado operacional, es decir, son instrucciones para ejecutar sobre un ordenador. El libro consta de cuatro partes. La primera es una introducción a la Programación Lógica, y la segunda al lenguaje Prolog. La parte tercera, la más importante según los autores, describe técnicas avanzadas de programación en Prolog. La cuarta y última parte combina los conceptos trabajados en el resto del libro para construir aplicaciones más complejas.

[Turner, 1985]

Logics for Artificial Intelligence

Raymond Turner

Ellis Horwood, 1985

El objetivo de este libro es el de servir de texto elemental y de referencia sobre la aplicación de lógicas no clásicas a la inteligencia artificial. Está estructurado de la siguiente forma: cap. 1 Introducción, cap. 2 Modalidad y Lógica Dinámica, cap. 3 Lógicas 3-valuadas y sus Interpretaciones Computacionales, cap. 4 Lógica Intuicionista, cap. 5 Hacia una Teoría Semántica de la Inferencia No Monótona, cap. 6 Lógica Temporal en Inteligencia Artificial, cap. 7 Lógica Fuzzy y Sistemas Expertos y cap. 8 Otras Lógicas y Perspectivas de Futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- ACM-IEEE (1991). "Computing Curricula 1991", *Communications of the ACM*, vol. 34, 1991.
- ACM-IEEE (2001), *Computing Curricula 2001. Computer Science*, The Joint Task Force on Computing Curricula. IEEE Computer Society y Association for Computing Machinery, Final Report, December 15, 2001, 2001.
- ACM (March 1968). "Curriculum '68: Recommendations for the Undergraduate Program in Computer Science", *Communications of the ACM*, vol. 11, no. 3, pp. 151-197, March 1968.
- ACM (March 1979). "Curriculum '78: Recommendations for the Undergraduate Program in Computer Science", *Communications of the ACM*, vol. 22, no. 3, pp. 147-166, March 1979.
- Alchurrón, C. E. (1995). *Lógica*. Enciclopedia Iberoamericana de Filosofía, Editorial Trotta.
- Arenas, L. (1996). *Lógica Formal para Informáticos*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid.
- Ausubel, D. P., Novak, J., y Hanesian, H. (1978). *Educational Psychology: A Cognitive View*. 2ª ed, Holt, Rinehart and Winston, New York.
- Aznar, F. (2001). *Un Sistema de Evaluación Remota (SER)*. Faraón Llorens (director). PFC Ingeniero en Informática. Dpto. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante.

- Álvarez Rojo, V. y Lázaro Martínez, Á. (2002). *Calidad de las Universidades y Orientación Universitaria*. Colección orientación, Ediciones Aljibe.
- Bacchus, F. (1990). *Representing and Reasoning With Probabilistic Knowledge. A Logical Approach to Probabilities*. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Barwise, J. y Etchemendy, J. (1992). *The Language of First Order Logic. Incluye la versión windows de Tarki's World 4.0*. Third ed., CSLI Lecture Notes, CSLI Publications, Stanford.
- Barwise, J. y Etchemendy, J. (1994). *Hyperproof*. CSLI Lecture Notes, CSLI Publications, Stanford, California.
- Barwise, J. y Etchemendy, J. (1998), *Computers, visualization, and the nature of reasoning*, Center for the Study of Language and Information, Stanford, 1998.
- Barwise, J. y Etchemendy, J. (2000). *Language, Proof and Logic*. Seven Bridges Press / CSLI Publications, Text / Software Package
- Bender, E. A. (1996). *Mathematical Methods in Artificial Intelligence*. IEEE Computer Society Press.
- Bigus, J. P. y Bigus, J. (2001). *Constructing Intelligent Agents Using Java*. 2nd ed., Professional Developer's Guide, John Wiley & Sons.
- Blat, J., Botía, J., Botti, V., Corchado, J. M., Giret, A., Gómez-Skarmeta, A. F., Iglesias, C. A., Llorens, F., Martín, F., Ossowski, S., Paniagua, E., Pavón, J., Plaza, E., Pujol, M., Rana, O. F., Rizo, R., y Sycara, K. P. (2002). *Agentes Inteligentes: Sistemas Multiagentes y Aplicaciones*. UIMP / CICYT, Alicante.
- BOE (1993). *Plan de Estudios conducente al título de Ingeniero en Informática de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante*. Resolución de 18 de septiembre de 1992 de la Universidad de Alicante, BOE nº 37 de 12 de febrero de 1993, páginas 4467-4478, 1993.
- BOE (2001). *Plan de Estudios conducente al título de Ingeniero en Informática de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante*. Resolución de 5 de septiembre de 2001 de la Universidad de Alicante. B.O.E. nº 230, de 25 de septiembre de 2001, pag. 35672-35686, 2001.
- Boole, G. (1854). *An Investigation of the Law of Thought, on which are founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*. Publicada por Editorial Paraninfo en 1982, *Una investigación sobre las leyes del pensamiento*.
- Bratko, I. (1990). *PROLOG Programming for Artificial Intelligence*. 2ª, Addison-Wesley.
- Brewka, G., Dix, J., y Konolige, K. (1997). *Nonmonotonic Reasoning. An Overview*. CSLI Lecture Notes, CSLI Publications, Stanford, California.
- Bricall, J. M. (2000). *Universidad 2 mil*. CRUE (Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas).
- Brown, G. y Atkins, M. (1988). *Effective Teaching in Higher Education*. Methuen & Co. Ltd.
- Bruynooghe, M., Debray, S., Hermenegildo, M. y Mahler, M. (1994). *Special Issue: Ten Years of Logic Programming*. Journal of Logic Programming 19/20, may/july.
- Burke, E. y Foxley, E. (1996). *Logic and its Applications*. Series in Computer Science, Prentice Hall International.
- Carroll, L. (1988). *El juego de la Lógica*.
- Casti, J. L. y DePauli-Schimanovich, W. (2000). *Gödel. A Life of Logic*. Perseus Publishing.
- Cebrián, J. L. (2000). *La Red*. Punto de lectura.

- Chaves García, J. R. (2001). *La Universidad Pública al derecho y al revés. Guía esencial del profesor a las puertas de la reforma universitaria*. Oficina de Cooperación Universitaria. Editorial Evergráficas.
- Clocksinn, W. F. y Mellish, C. S. (1987). *Programación en Prolog*. Gustavo Gili.
- Colmerauer, A. (1970), *Les Systèmes-Q, ou un formalisme pour analyser et synthétiser des phrases sur ordinateur*, Computer Science Dpment., Université de Montréal, 1 de Septiembre de 1970. Internal Report 43.
- Colmerauer, A., Kanoui, H., Roussel y Pasero, R. (1973), *Un Systeme de Communication Homme-Machine en Francais*, Groupe de Recherche en Intelligence Artificielle, Université d'Aix-Marseille, 1973.
- Consejo de Universidades (1987). *Directrices Generales Comunes de los Planes de Estudio de los Títulos Universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional*. Real Decreto 1497/1987 de 27 de noviembre, 1987.
- Consejo de Universidades (1990). *Directrices Generales Propias de los Planes de Estudio conducentes al título oficial de Ingeniero en Informática*. Real Decreto 1459/1990 de 26 de octubre, BOE nº 278: 34401-34405 de 20 de noviembre de 1990, 1990.
- Consejo de Universidades (1992). *Recomendaciones del Consejo de Universidades para el Diseño y la Homologación de Planes de Estudio*. 1992.
- Consejo de Universidades (1998). *Modificación parcial del Real Decreto 1497/1987*. B.O.E. de 1 de mayo de 1998, 1998.
- Covington, M. A. (1993), *ISO Prolog. A Summary of the Draft Proposed Standard*, A. I. Prog. Univ. of Georgia, 1993.
- Crevier, D. (1996). *Inteligencia Artificial*. Acento Editorial.
- Cruz-Tomé, M. A. d. I. (1981). *Didáctica de la Lección Magistral*. INCIE, Madrid.
- Cuena, J. (1985). *Lógica Informática*. Alianza Editorial.
- Cuena, J. (1995). *Notas sobre Modelos de Razonamiento*. Servicio de Publicaciones, Universidad Politécnica de Madrid.
- Deaño, A. (1992). *Introducción a la Lógica Formal*. Alianza Universidad Textos.
- Deransart, P., Ed-Dbali, A., y Cervoni, L. (1996). *Prolog: The Standard. Reference Manual*. Springer-Verlag, New York.
- Dodd, T. (1990). *Prolog. A Logical Approach*. Oxford University Press.
- Embid, A. y Gurrea, F. (2001). *Legislación Universitaria. Normativa general y autonómica*. Novena Edición, actualizada 2001, Editorial Tecnos.
- Embid, A. y Michavila, F. (2001). *Hacia una nueva Universidad. Apuntes para un debate*. Tecnos.
- Ferber, J. (1999). *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Addison-Wesley.
- Feynman, R. P. (2000). *El placer de descubrir*. Dacrontos, Editorial Crítica.
- Frege, G. (1879). *Begriffsschrift: eine der arithmetischen nachgebildete Formalsprache des reinen Denkens*. (Conceptografía: un lenguaje simbólico al modo aritmético del pensamiento como tal).
- Gal-Ezer, J. y Harel, D. (1998). "What (Else) Should CS Educators Know?", *Communications of the ACM*, vol. 41, no. 9, pp. 77-84, September 1998.
- Gardner, M. (1989). *¡Ajá! Paradojas. Paradojas que hacen pensar*. 4ª edición, Labor, Barcelona. (original: Aha! Gotcha. Paradoxes to puzzle and delight, 1975).

- Garrido, M. (1991). *Lógica Simbólica*. 2ª ed., Editorial Tecnos.
- Genesereth, M. R. y Nilsson, N. J. (1987). *Logical Foundations of Artificial Intelligence*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Giannesini, F., Kanoui, H., Pasero, R., y van Caneghem, M. (1989). *Prolog*. Addison-Wesley Iberoamericana.
- Goldson, D., Reeves, S. y Bornat, R. (1993). "A Review of Several Programs for the Teaching of Logic", *The Computer Journal*, vol. 36, no. 4, 1993.
- González-Labra, M. J. (1998). *Introducción a la Psicología del Pensamiento*. Colección Estructuras y Procesos, Serie Cognitiva, Editorial Trotta.
- Gödel, K. (1931). *On Formally Undecidable Propositions in Principia Mathematica and Related Systems*.
- Grassmann, W. K. y Tremblay, J.-P. (1997). *Matemática Discreta y Lógica. Una perspectiva desde la Ciencia de la Computación*. Prentice-Hall.
- Green, C. (1969). "Application of Theorem Proving to Problem Solving", IJCAI-69, 1969, Washington, pp. 219-239.
- Handbook. (1992a). *Background-Mathematical Structures*. Abramsky, S., Gabbay, D. M., and Maibaum, T. S. E. *Handbook of Logic in Computer Science*. [Vol. 1]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Handbook. (1992b). *Background - Computational Structures*. Abramsky, S., Gabbay, D. M., and Maibaum, T. S. E. *Handbook of Logic in Computer Science*. [Vol. 2]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Handbook. (1992c). *Logical Methods in Computer Science*. Abramsky, S., Gabbay, D. M., and Maibaum, T. S. E. *Handbook of Logic in Computer Science*. [Vol. 6]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Handbook. (1992d). *Semantic Modelling*. Abramsky, S., Gabbay, D. M., and Maibaum, T. S. E. *Handbook of Logic in Computer Science*. [Vol. 4]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Handbook. (1992e). *Semantic Structures*. Abramsky, S., Gabbay, D. M., and Maibaum, T. S. E. *Handbook of Logic in Computer Science*. [Vol. 3]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Handbook. (1992f). *Theoretical Methods in Specification and Verification*. Abramsky, S., Gabbay, D. M., and Maibaum, T. S. E. *Handbook of Logic in Computer Science*. [Vol. 5]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Handbook. (1993a). *Deduction Methodologies*. Gabbay, D. M., Hogger, C. J., and Robinson, J. A. *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*. [Vol. 2]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Handbook. (1993b). *Epistemic and Temporal Reasoning*. Gabbay, D. M., Hogger, C. J., and Robinson, J. A. *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*. [Vol. 4]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Handbook. (1993c). *Logic Programming*. Gabbay, D. M., Hogger, C. J., and Robinson, J. A. *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*. [Vol. 5]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Handbook. (1993d). *Logical Foundations*. Gabbay, D. M., Hogger, C. J., and Robinson, J. A. *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*. [Vol.1]. Clarendon Press. Oxford University Press.

- Handbook. (1993e). *Nonmonotonic Reasoning and Uncertain Reasoning*. Gabbay, D. M., Hogger, C. J., and Robinson, J. A. *Handbook of Logic in Artificial Intelligence and Logic Programming*. [Vol. 3]. Clarendon Press. Oxford University Press.
- Hofstadter, D. R. (1998a). *Fluid Concepts and Creative Analogies. Computer Models of the Fundamental Mechanisms of Thought*. Penguin Books.
- Hofstadter, D. R. (1998b). *Gödel, Escher, Bach. Un Eterno y Grácil Bucle*. 6ª edición, Metatemas. Libros para pensar la ciencia, Tusquets Editores, Barcelona.
- IEEE (1983), *The 1983 Model Program in Computer Science and Engineering*, Educational Activities Board IEEE. IEEE Computing Society Press, 1983.
- IFIP-UNESCO (1984), *A Modular Curriculum in Computer Science*, 1984.
- IFIP-UNESCO (2000), *Informatics Curriculum Framework 2000 for Higher Education*, 2000.
- IHMC. (2002). *IHMC Concept Map Toolkit. Concept Map Software, a knowledge construction toolkit*. [versión 2.9.1]. Institute for Human and Machine Cognition, The University of West Florida. CMap Tools. (<http://cmap.coginst.uwf.edu>).
- IIPCU (2001). *II Plan de la Calidad de las Universidades*. Real Decreto 408/2001, B.O.E. núm. 96 de 21 de abril de 2001. (<http://www.boe.es/boe/dias/2001-04-21/pdfs/A14777-14779.pdf>).
- Kelly, J. (1997). *The essence of LOGIC*. Essence of Computing, Prentice Hall.
- Kosko, B. (1995). *Pensamiento borroso. La nueva ciencia de la lógica borrosa*. Drakontos, Editorial Crítica, Barcelona.
- Kowalski, R. A. (1974). "Predicate Logic as a Programming Language", Proc. IFIP, 1974, Ámsterdam.
- Kowalski, R. A. (1986). *Lógica, Programación e Inteligencia Artificial*. Editorial Díaz de Santos.
- Krulik, S. y Rudnick, K. (1980). *Problem solving in school mathematics*. National Council of Teachers of Mathematics. Year Book.
- Ley 5/2002 de GV (2002). *Ley de creación del Consejo Valenciano de Universidades y de la Comisión Valenciana de Acreditación y Evaluación de la Calidad en el Sistema Universitario Valenciano*. Ley 5/2002 de la Generalitat Valenciana, 19 de Junio de 2002.
- Llorens, F. (1993). *Tratamiento de Imágenes. Filtros Morfológicos*. Ramón Rizo y Francisco Escolano (director). PFC Licenciatura en Informática. Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Valencia.
- Llorens, F. (1996). *Proyecto Docente Profesor Titular de Escuela Universitaria, Proyecto Docente*. Dpto. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Alicante.
- Llorens, F. (2001). *Sistemas de Razonamiento y Conocimiento Distribuido. Agentes Inteligentes*. Ramón Rizo (director). Doctor Ingeniero (PhD), Tesis Doctoral. Dpto. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Alicante.
- Llorens, F. y Castel, M. J. (1998). *Lògica de Primer Ordre*. Col·lecció Joan Fuster. Materials per a la docència en valencià, Secretariat de Normalització Lingüística, Universitat d'Alacant, Alacant. Dpto. Ciència de la Computació i Intel·ligència Artificial.
- Llorens, F. y Castel, M. J. (1999). *Lógica de Primer Orden*. 2ª edición, Imprime: Ramón Torres Gosálvez, Alicante. Dpto. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Alicante.
- Llorens, F., Castel, M. J., Mora, F. J. y Villagrà, C. (2001), "Los Juegos como Herramienta Docente. Formalización de Juegos Lógicos en Prolog," en *VII Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de*

- la Informática*, Servei de Publicacions i Intercanvi Científic, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, pp. 109-114.
- Llorens, F. y Mira, S. (2000a), "ADN (Asistente para Deducción Natural) Natural Deduction Assistant," en *Proceedings of the First International Congress on Tools for Teaching Logic*, Universidad de Salamanca, Cursos Extraordinarios, Salamanca, pp. 65-70.
- Llorens, F. y Mira, S. (2000b), "Herramienta para la enseñanza de la *Deducción Natural*," en *VI Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática*, Servicio de Publicaciones, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, pp. 496-502.
- Llorens, F. y Mira, S. (2002), "ADN: una herramienta para la enseñanza de la *Deducción Natural*," en *Aportaciones de la Didáctica de la Matemática a diferentes perfiles profesionales*, M. C. Penalva, G. Torregrosa y J. Valls (eds.), Universidad de Alicante, Alicante, pp. 447-460.
- LOU (2001). *Ley Orgánica de Universidades*. 121/000045, Aprobada por el Pleno del Congreso de los Diputados el 20 de diciembre de 2001, 20 de Diciembre de 2001.
- LRU (1983). *Ley de Reforma Universitaria*. Ley Orgánica 11/1983, BOE nº 209 de 1 de septiembre de 1983, 25 de Agosto de 1983.
- Maldonado, T. (1998). *Crítica de la razón informática*. 1ª edición, Multimedia, Ediciones Paidós.
- Michavila, F. (2001). *La salida del laberinto. Crítica Urgente de la Universidad*. Editorial Complutense.
- Michavila, F. y Calvo, B. (1998). *La Universidad Española Hoy. Propuestas para una política universitaria*. Editorial Síntesis.
- Michavila, F. y otros (2001). *Innovaciones en la organización y gestión de las universidades*. Cátedra UNESCO de Gestión y Política Universitaria (UPM) y Dirección General de Universidades (Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid).
- Michavila, F. y otros (2002a). *Acreditación de las enseñanzas universitarias: un futuro de cambio*. Cátedra UNESCO de Gestión y Política Universitaria (UPM) y Dirección General de Universidades (Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid).
- Michavila, F. y otros (2002b). *El carácter transversal en la educación universitaria*. Cátedra UNESCO de Gestión y Política Universitaria (UPM) y Dirección General de Universidades (Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid).
- Microsoft (2002). *Microsoft Agent Software Development Kit*.
- Mira, S. (2000). *Asistente para Deducción Natural (ADN)*. Faraón Llorens (director). PFC Ingeniero en Informática. Dpto. Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Alicante.
- Miró, J. (2000), "Aprendizaje a través de la escritura: experiencias," en *JENUUI 2000. VI Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática. Libro de Comunicaciones*, R. Peña, P. Ramos y A. J. de Vicente (eds.), Servicio de Publicaciones. Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, pp. 451-456.
- Moore, R. C. (1995). *Logic and Representation*. CSLI Lecture Notes nº 39, CSLI Publications, Stanford, California.
- Morin, E. (2001). *La mente bien ordenada. Repensar la reforma, Reformar el pensamiento*. Tercera edición, Editorial Seix Barral.
- Mosterín, J. (2000). *Los Lógicos*. Espasa Calpe.
- Nagel, E. y Newman, J. R. (1994). *El Teorema de Gödel*. 2ª ed., Editorial Tecnos.
- Nerode, A. y Shore, R. A. (1997). *Logic for Applications*. Second edition, Springer-Verlag.

- Nilsson, N. J. (2001). *Inteligencia Artificial. Una nueva síntesis*. McGraw-Hill.
- Novak, J. (2002). *The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them*. IHMC (Institute for Human and Machine Cognition), The University of West Florida . (<http://cmap.coginst.uwf.edu>).
- Novak, J. y Gowin, D. B. (1984). *Learning How to Learn*. Cambridge University Press.
- O'Keefe, R. A. (1990). *The Craft of Prolog*. The MIT Press, Cambridge.
- Ortega y Gasset, J. (1999). *Misión de la Universidad*. Fundación Empresa-Universidad, FUNDEUN, Universidad de Alicante, Edición original de 1930.
- Pagani, R. (2002), *El Crédito Europeo y el Sistema Educativo Español*, Madrid, 15 de Septiembre de 2002. ECTS Counsellors & Diploma Supplement Promoters.
- Paulos, J. A. (1994). *Pienso, luego río*.
- PNECU (1995). *Plan Nacional de Evaluación de la Calidad de las Universidades*. Real Decreto 1947/1995, B.O.E. de 9 de diciembre, 1 de Diciembre de 1995.
- Polya, G. (1995). *Cómo Plantear y Resolver Problemas*. 19ª edición, Editorial Trillas, México. (original: How to solve it, 1945).
- Poole, D., Mackworth, A., y Goebel, R. (1998). *Computational Intelligence: A Logical Approach*. Oxford University Press.
- Puigjaner, R. y otros (2002), *Informe sobre la Adaptación de los Estudios de las Ingenierías en Informática a la Declaración de Bolonia*, CODDI (Conferencia de Directores y Decanos de Informática del Estado Español), Barcelona, Junio de 2002.
- Quillian, M. R. (1968), "Semantic Memory," en *Semantic Information Processing*, M. Minsky (ed.), MIT Press, Cambridge, pp. 216-270.
- Rectores de las Universidades Europeas (1988). *Carta Magna de la Universidad Europea*. Bolonia, 18 de Septiembre de 1988. (<http://www.unibo.it/avl/charta/menu.htm>).
- Rectores de las Universidades Europeas (1999). *Bologna Declaration, the european higher education area, joint declaration of the european Ministers of education*. Bologna, June de 1999.
- Rectores de las Universidades Europeas (2001). *Towards the european higher education area*. Praga, 19 de May de 2001.
- Reeves, S. y Clarke, M. (1993). *Logic for Computer Science*. Reprinted. First printed 1990, International Computer Science Series, Addison-Wesley Publishing.
- Robinson, J. A. (1965). "A Machine-Oriented Logic Based on the Resolution Principle", *Journal of the Association for Computing Machinery*, vol. 12, no. 1, pp. 23-41, 1965.
- Russell, S. y Norving, P. (1996). *Inteligencia Artificial: un enfoque moderno*. Prentice Hall Hispanoamericana, México.
- Sauleda, N. (2002). *Lliçó inaugural i auguri de bones lliçons* Lliçó Inaugural Curs Acadèmic 2002-2003. Facultat d'Educació, Universitat d' Alacant.
- Savater, F. (1997). *El valor de educar*. 3ª, Editorial Ariel, Barcelona.
- Smullyan, R. (1991). *Alicia en el País de las Adivinanzas*.
- Smullyan, R. (1995). *Juegos por siempre misteriosos. Recorriendo los caminos abiertos por Gödel sobre la verdad y la probabilidad*. Segunda edición, Juegos, Editorial Gedisa, Barcelona. (original: Forever Undecided, 1987).

- Sterling, L. y Shapiro, E. (1994). *The Art of Prolog. Advanced Programming Techniques*. 2ª, The MIT Press.
- Sycara, K. P., Paolucci, M., van Velsen, M. y Giampapa, J. (2002), "The RETSINA MAS Infrastructure," en *Agentes inteligentes: sistemas multiagentes y aplicaciones*, A. F. Gómez-Skarmeta, M. Pujol y R. Rizo (eds.), UIMP / CICYT, Alicante.
- TTL (2000). "First International Congress on Tools for Teaching Logic", June 2000, University of Salamanca, Spain.
- Turner, R. (1985). *Logics for Artificial Intelligence*. Ellis Horwood.
- Tymoczko, T. y Henle, J. (2002). *Razón, dulce razón. Una guía de campo de la lógica moderna*. Editorial Ariel, Barcelona.
- UNESCO (1998). *Declaración Mundial sobre la Educación Superior en el siglo XXI: Visión y Acción*. Conferencia Mundial sobre la Educación Superior, del 5 al 9 de octubre de 1998, 9 de Octubre de 1998.
- Weiss, G. (2000). *Multiagent Systems. A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. The MIT Press.
- Wielemaker, J. (2001). *SWI-Prolog 4.0. Reference Manual*. Dept. of Social Science Informatics (SWI), University of Amsterdam. (<http://www.swi-prolog.org>).
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to Multiagent Systems*. John Wiley.